

Livro de Resumos

**"O Papel das Águas Subterrâneas em
um Cenário de Mudanças Climáticas"**

Belo Horizonte, MG

07 a 09 de maio de 2025

Organização

Rodrigo de Paula

Presidente da comissão organizadora

Paulo Galvão

Presidente do Simpósio

Rodrigo de Paula (LEHID-UFMG)

Paulo Galvão (LEHID-UFMG)

Lucas de Padoan de Sá Godinho (LEHID-UFMG)

Bruno Conicelli (CEPAS-USP)

Rafael Terada (University of Calgary, Canadá)

Maria Antonieta Mourão (Serviço Geológico do Brasil)

Marília de Melo (Secretaria do Meio Ambiente – MG)

Comissão científica

Nota de boas-vindas e agradecimentos

Em sua terceira edição, o Café Hidrogeológico une-se à primeira edição do Simpósio Mineiro de Estudos Hídricos (SIMEH), com o propósito de ampliar a difusão do conhecimento hidro(geo)lógico e de fortalecer os laços entre o meio acadêmico e o setor produtivo.

Essas iniciativas foram idealizadas pelo Laboratório de Estudos Hidrogeológicos (LEHID), do Instituto de Geociências da UFMG, e contam com o apoio da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS – Núcleo Minas Gerais e Nacional), da Minas Jr. Consultoria Mineral, o do TRES (*Treatment and Research in Earth Sciences*) e do Programa de Pós-graduação em Geologia da UFMG.

A realização deste evento só se torna possível graças aos nossos apoiadores e patrocinadores, que acreditam na importância da ciência, da inovação e da integração entre os diversos setores da sociedade. A todos os parceiros que contribuíram para tornar este evento uma realidade, os nossos mais sinceros agradecimentos.



Coordenador



PROGRAMA DE
PÓS-GRADUAÇÃO
EM GEOLOGIA - UFMG



Coordenador

LEHID
Laboratório de Estudos Hidrogeológicos



Vice-presidente



ABAS
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE
ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Realização



Patrocínios

Diamante



Conselho Federal de Engenharia
e Agronomia



Conselhos Regionais de Engenharia
e Agronomia



Caixa de Assistência dos Profissionais do Crea

Ouro



Prata



Bronze



ANÁLISE DE CARGA ESPECÍFICA E PRODUTIVIDADE HÍDRICA DOS POÇOS PRESENTES NO HOMOCLINAL CURRAL, MG

Moreira, C.T.A.¹; Galvão, P.H.F.²; Paula, R.S.³; Pacheco Neto, W.M.⁴; Ladeira, B.P.⁵

¹UFMG, alexatestimoreira@gmail.com; ²UFMG, rodrigo.spdm@yahoo.com.br; ³UFMG, hidropaulo@gmail.com; ⁴UFMG, wallacemacielfgeo@gmail.com; ⁵UFMG, brunoladeira49@gmail.com

RESUMO

O Homoclinal Curral (HMC), uma estrutura geológica de notável relevância no contexto do Quadrilátero Ferrífero, destaca-se por abrigar extensos complexos minerários e áreas urbanas densamente povoadas. Sua importância estratégica é reforçada pela presença de uma ampla rede de poços tubulares, utilizados para múltiplas finalidades, como o abastecimento industrial, a irrigação agrícola e o consumo humano. A topografia regional é marcada por significativos cursos d'água que integram a Ottobacia do Rio São Francisco, destacando-se, entre eles, o Rio das Velhas e o Rio Paraopeba. Do ponto de vista geológico, a estratigrafia do HMC é composta pelos Supergrupos Minas e Rio das Velhas e Complexos Arqueanos no embasamento, enquanto que, no contexto hidrogeológico, identificam-se as unidades Batatal, Moeda, Gandarela, Cauê, Piracicaba, Sabará e Rio das Velhas, predominantemente caracterizadas como aquíferos fissurais, embora também apresentem características granulares e cársticas em determinadas localidades. A configuração estrutural da região resulta da atuação de três grandes ciclos deformacionais geotectônicos: o ciclo Transamazônico (D1), com direção NNE–SSW (20°–30°); o ciclo Brasileiro Leste (D2), com orientação NW–SE (120°–140°); e o ciclo Brasileiro Oeste (D3), com direção E–W a ENE. Esses eventos deformacionais imprimiram na região uma complexidade estrutural que influencia diretamente a produtividade dos aquíferos. O presente estudo teve como objetivo avaliar a produtividade hídrica no HMC, categorizando a área quanto ao seu potencial de produção, de acordo com critérios estabelecidos por classificações internacionais. Para isso, foram analisados dados provenientes do Sistema Integrado de Informação Ambiental (SIAM), sob responsabilidade do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), abrangendo o período de 1970 a 2024. Por meio de ferramentas de geoprocessamento nos softwares QGIS e Excel, foram extraídos e tratados dados de 480 poços tubulares, contendo informações completas sobre profundidade, diâmetro, vazão e capacidade específica, esta última variando de 0,005 m³/h/m a 21 m³/h/m. Dos poços analisados, 289 apresentaram capacidade específica inferior a 0,4 m³/h/m; 77 entre 0,4 e 1,0 m³/h/m; 46 entre 1,0 e 2,0 m³/h/m; 32 entre 2,0 e 4,0 m³/h/m; e 36 acima de 4,0 m³/h/m. Foi constatado que 0,15% da malha amostral encontra-se no Aquífero Cauê, sendo que 15 destes poços possuem capacidade específica superior a 4,0 m³/h/m, evidenciando sua alta produtividade fissural, corroborando os resultados apresentados por Mourão (2007) sobre a alta produtividade dessa unidade hidrogeológica dentro do contexto regional. Conclui-se, portanto, que o Homoclinal Curral apresenta um indicativo de que aquíferos regionalmente são produtivos, visto que 39,7% da malha amostral de poços tubulares apresentam capacidade específica maior que 0,4 m³/h/m. Acredita-se que a eficiência hídrica está diretamente relacionada à variabilidade composicional das rochas, à sua história deposicional e, sobretudo, ao complexo arcabouço tectônico que estrutura a região.

Palavras-chave: Hidrogeologia; Quadrilátero Ferrífero; Cauê; Produtividade; Capacidade Específica.

HIDROGEOQUÍMICA E QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS VELHAS, JEQUITAI E PACUÍ UMA ABORDAGEM ESTATÍSTICA E POR SENSORIAMENTO REMOTO

Ana Carolina de Assis Machado¹; Isadora Melo²; Leonardo Botelho³; Eduardo Duarte Marques⁴; Emmanuel Vieira da Silva Filho⁵

¹Universidade Federal Fluminense, assismachado.ana@gmail.com; ²Universidade Federal Fluminense, isa.mellojf@gmail.com; ³Universidade Federal Fluminense, geologiabotelho@gmail.com; ⁴Serviço Geológico do Brasil, eduardo.marques@cprm.gov.br; ⁵Universidade Federal Fluminense, emmanoelvieirasilvafilho@id.uff.br

RESUMO

As Bacias Hidrográficas dos Rios Velhas, Jequitai, Pacuí e trechos do Rio São Francisco estão inseridas na borda Leste da região Ocidental do Cráton São Francisco, na região Centro-Norte de Minas Gerais, Brasil. Objetiva-se fornecer informações sobre indícios de processos hidrogeoquímicos que definem a qualidade das águas nas três bacias, considerando as condicionantes naturais e antrópicas utilizando ferramentas estatísticas e sistemas de informações geográficas (SIG) nas análises hidrogeoquímicas de 379 pontos de coleta de águas superficiais na fração dissolvida (fração < 0,45 µm) em drenagens de primeira e segunda ordem, no período de estiagem (março a outubro), executado pelo Serviço Geológico do Brasil – SBG. Os parâmetros físico-químicos obtidos foram de temperatura, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, e potencial hidrogeniônico medidos *in situ*, e, trinta e cinco íons determinados por ICP-OES e cromatografia iônica, foram agrupados em setores hidrográficos e unidades litológicas e aplicadas estatísticas descritivas (Piper, Gibbs, Chadha, Índice Cloro-Alcalino, Índice de Química Inorgânica) e testes estatísticos não paramétricos. Os resultados apresentaram pH de neutro a ácido (4,4 a 8,2), TDS entre 1,2mg/l – 595,1mg/l. No limite estabelecido pelo CONAMA 357 as concentrações dos íons de Alumínio, Arsênio, Cobre, Ferro, Manganês, Níquel, Nitrito, Nitrato, Fosfato e Zinco apresentam concentrações impróprias para o consumo humano e irrigação. A análise fatorial indicou três associações hidrogeoquímicas, que através da transformação pela Razão Logarítmica Centralizada (CLR) possibilita duas associações, a negativa e a positiva. O Fator 1 apresenta correlações positivas para Al e Fe, que correlacionam a dissolução de minerais aluminossilicáticos e correlações negativas para HCO₃–Ca–Mg–F que podem representar influência do sistema carbonato. O Fator 2, exibe correlações positivas para Na, K e Cl que podem ser correlacionados a influência antropogênica por esgoto doméstico e efluentes industriais e a correlação negativa é para PO₄ que pode ser correlacionada a ampla área de pastagem e ao uso de fertilizantes (NPK) da área agrícola. O Fator 3 mostra correlações positivas para SO₄, NO₃, Cl, que sugerem a contribuição antrópica corroborada pela presença do rejeito industrial e esgoto doméstico da região metropolitana de Belo Horizonte e, no setor Jequitai-Pacuí, que podem ser corroborados pelos efluentes agroquímicos, como a lixiviação de aditivos agrícolas.

Palavras-Chave: Hidrogeoquímica; Qualidade de água; Análise multivariada; Dados não-paramétricos.

AVALIAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E OTIMIZAÇÃO DE BARREIRA HIDRODINÂMICA PARA CONTROLE DE CONTAMINANTES EM ÁREA DE MINERAÇÃO

Ana Clara Mariante Ferreira¹, Isabella Andrade, Caio Augusto Reis Macedo³, Felipe Costa⁴, Andreia Resende⁵.

¹WSP, ana.ferreira@wsp.com; ²WSP, isabella.andrade@wsp.com; ³WSP, caio.macedo@wsp.com; ⁴WSP, felipe.costa@wsp.com; ⁵WSP, andrea.resende@wsp.com.

RESUMO

Com o objetivo de conter o aporte de contaminantes provenientes de uma barragem de mineração, localizada às margens de um rio de importância nacional, foi implementada uma barreira hidrodinâmica com duas linhas de poços: cerca de 60 poços de injeção por gravidade, responsáveis por elevar a carga hidráulica do barramento e superar o nível de água do reservatório, e outra linha com cerca de 30 poços de bombeamento, responsáveis por captar o fluxo de água contaminado contido paralelamente à linha de injeção. No entanto, anos após a implantação e posterior desativação da estrutura, a documentação detalhada sobre o funcionamento da barreira foi perdida. Diante disso, foi conduzido um programa de ensaios de bombeamento e injeção, ao longo de dois meses, com o objetivo de caracterizar hidrogeologicamente a área, propor melhorias e subsidiar a elaboração de um manual de operação. A análise dos perfis litológicos revelou a presença de depósitos fluviais com estratigrafia composta, da base para o topo, por uma camada de cascalho e areia (aproximadamente 1 metro de espessura), seguida por siltes e argilas intercalados, com espessura média de 7 metros. Com base nessas informações, foram caracterizadas duas unidades hidroestratigráficas: um aquífero principal associado aos níveis de cascalho arenoso (condutividade hidráulica entre 10^{-3} e 10^{-5} m/s) e uma camada confinante composta por siltes e argilas (condutividade entre 10^{-6} e 10^{-8} m/s), que atua localmente como aquitardo. Segundo as premissas originais de projeto, o sistema de bombeamento deve manter o nível d'água nos poços pelo menos 1,5 metros abaixo do nível do rio, de forma a impedir o fluxo indesejado de contaminantes. Com esse rebaixamento, o rio atua como uma barreira hidráulica natural, passando a exercer, de forma passiva, o papel de injeção. Entretanto, os ensaios revelaram oscilações diárias nos níveis dos poços, com picos de aproximadamente 0,5 metros, coincidentes com as variações do nível do rio, influenciadas pelo reservatório a montante do empreendimento. Essas flutuações indicam conectividade direta entre o rio e os poços com seção filtrante instalada no cascalho. Diante disso, foram analisados os níveis dinâmicos (com bombas ligadas) e estáticos (com bombas desligadas) em um ensaio de operação da barreira e a partir dos percentis dos níveis flutuantes do rio, estimaram-se os rebaixamentos e vazões ideais, necessários para garantia de um funcionamento eficaz e menos oneroso. Observou-se que, em 5% dos casos, a premissa é atendida sem a necessidade de bombeamento. Por outro lado, o aumento do nível do lago de rejeito impõe maior exigência ao sistema. Não obstante, ainda que o monitoramento hidrogeoquímico tenha indicado menores concentrações de contaminantes a jusante, não foi possível atribuir essa redução exclusivamente à injeção, dado que a drenagem interna do barramento pode estar contribuindo para a atenuação. Como recomendações, propõe-se a instalação de sistemas de telemetria nos poços de bombeamento, o controle automatizado de vazão para manter os níveis conforme as premissas operacionais, e o monitoramento trimestral da qualidade da água interceptada pela drenagem interna, visando aprimorar a gestão e a avaliação da eficácia da barreira de injeção.

Palavras-Chave: Barreira hidráulica; Rebaixamento; Eficiência; Poços de Bombeamento; Contaminantes.

DIAGNÓSTICO HIDROQUÍMICO E AVALIAÇÃO DE RISCOS DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA BACIA DO RIO DAS VELHAS

Ana Luisa Quintanilha Candido¹, Míriam Cristina Santos Amaral², Sílvia Maria Alves Corrêa Oliveira³, Victor Rezende Moreira⁴

¹UFMG, ana.luisa@desa.ufmg.br; ²UFMG, miriam.amaral@desa.ufmg.br; ³UFMG, silvia.oliveira@desa.ufmg.br; ⁴UFMG, victor@desa.ufmg.br

RESUMO

A crescente dependência de águas subterrâneas frente à escassez hídrica e à contaminação de recursos superficiais reforça a importância de diagnósticos ambientais que avaliem a qualidade e segurança desse recurso, especialmente em regiões marcadas por uso intensivo da terra e pressão antrópica. A bacia do Rio das Velhas, em Minas Gerais, destaca-se por sua relevância estratégica, concentrando atividades minerárias, agropecuárias e urbanas, sendo considerada um importante polo hidrológico e econômico regional. Apesar disso, diagnósticos integrados e de longo prazo sobre a qualidade de suas águas subterrâneas são escassos. Este estudo teve como objetivo diagnosticar a qualidade da água subterrânea na bacia e relacioná-la com o uso e ocupação do solo. Foram analisados dados de 35 poços monitorados entre 2004 e 2023, totalizando 26 parâmetros físico-químicos e microbiológicos. As análises envolveram o uso do Índice de Qualidade da Água (WQI), diagramas hidroquímicos de Piper e Gibbs, avaliação de riscos à saúde humana — carcinogênicos e não carcinogênicos — conforme diretrizes da USEPA, e riscos à irrigação com base nos índices SAR e RSC. Os resultados mostraram que apenas 35% dos poços mantiveram qualidade classificada como boa ou excelente ao longo do período. Todos os poços apresentaram, em algum momento, contaminação microbiológica por *Escherichia coli* ou coliformes termotolerantes, o que inviabiliza seu uso direto para consumo humano. Concentrações elevadas de ferro, manganês, alumínio, chumbo e níquel foram associadas a ambientes com pH ácido e Eh negativo, condições que favorecem a mobilização de metais. As análises espaciais apontaram relação entre o uso antropológico, com a degradação da qualidade da água subterrânea, sendo que os poços mais críticos estavam localizados em áreas urbanizadas próximas a empreendimentos minerários e agrícolas. A classificação hidroquímica indicou predomínio do tipo Ca-HCO₃, com influência de intemperismo de rochas carbonáticas e processos de evaporação, especialmente em regiões agrícolas. A análise multicritério indicou cinco poços como prioritários para ações de remediação e, ainda que os riscos à irrigação tenham sido menores, quatro poços apresentaram RSC acima do valor crítico em cenários de máxima concentração. Conclui-se que a degradação da qualidade da água subterrânea na bacia resulta da combinação de processos naturais, ocupação do solo e insuficiência de saneamento, sendo necessárias ações integradas de monitoramento, ordenamento territorial e proteção dos aquíferos, especialmente frente às mudanças climáticas.

Palavras-Chave: Diagnóstico Ambiental; Hidroquímica; Contaminação por Metais; Uso e Ocupação do Solo; Gestão de Águas Subterrâneas.

BALANÇO HÍDRICO DO ANO HIDROLÓGICO 2023/2024 NA REGIÃO DA SUB-BACIA DO RIO CARINHANHA, MINAS GERAIS

Ana Maria Nascimento Gonçalves^{1,2}, Rodrigo Sérgio de Paula^{1,3}, Letícia Pereira dos Santos^{1,4}, Rafael Fernando Marinho Quintão^{1,5}, Vitória Gomes Macedo^{1,6}, Yasmin Andrade Lima^{1,7}, Matheus de Castro Fiusa^{1,8}.

¹Laboratório de Estudos Hidrogeológicos [LEHID], Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, CPMT-IGC, Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 – Campus Pampulha, Belo Horizonte - MG, 31270-901, Brasil; ²anamarianascgs@gmail.com; ³depaula.ufmg@gmail.com; ⁴letterpds@gmail.com; ⁵rafaelmquintao@gmail.com; ⁶vitoriagomesmacedo3@gmail.com; ⁷yasminnandrad@gmail.com; ⁸math.castrogeo@gmail.com.

RESUMO

A sub-bacia do Rio Carinhanha compreende uma área de aproximadamente 7.296 km² e está inserida na Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros do Médio São Francisco – SF9. Seguindo a Classificação de Köppen, a sub-bacia possui clima Tropical Quente e Úmido, além de ser representada pelo bioma do Cerrado. A estratigrafia da região é constituída pelos calcários e pelitos do Grupo Bambuí sobrepostos pelos arenitos do Grupo Urucuia. Já a sua hidrogeologia é composta majoritariamente pelos aquíferos cársticos-fissurais da Formação Sete Lagoas, confinados ou não, pelo aquífero referente à Formação Serra de Santa Helena e pelos aquíferos porosos do Grupo Urucuia e Areado. Para este trabalho foi selecionada a estação pluviométrica 1444003 (Miravânia, MG) com dados contínuos de precipitação mensal para o ano hidrológico de Out/2023 a Set/2024, através da plataforma HIDROWEB, da Agência Nacional de Águas – ANA e dados de temperatura da estação automática de Montes Claros - [A506], do INMET. Em seguida, os dados de pluviometria e temperatura foram calculados pelo método de Thornthwaite & Mather (1955). Com uma pluviometria de 919 mm para o ano hidrológico 2023/2024 e assumindo um CAD de 100 mm, o cálculo retornou os seguintes resultados: EXC = 275,3 mm (29,3%); DEF = 724,8 mm; ETP = 1368,56 mm; ETR = 643,7 mm (70,7%). Com esses resultados, foi realizada a classificação dos períodos de déficit e excedente hídrico: apenas os meses de Dez/2023 a Fev/2024 caracterizam um período de excedente hídrico na região, com pico em 150 mm, enquanto que os intervalos de Out/2023 a Nov/2023 e Mar/2024 a Set/2024 caracterizam um déficit hídrico, com pico em 125 mm. Alinhado à evapotranspiração real (EVR), equivalente a 70,7% da pluviometria total, e ao déficit hídrico (DEF), mais que o dobro do excedente (EXC), os valores indicam uma constante perda de água na região. Ou seja, pela maior parte do ano a quantidade de água expelida do sistema supera a quantidade absorvida por ele, característica do clima da região. Fica evidente, portanto, uma alta deficiência hídrica na região, decorrente da baixa pluviosidade e altas temperaturas, com consequências pronunciadas sobre as atividades agrícolas e de abastecimento público, abundantes na área. Ainda, no longo prazo faz-se cabível inferir um impacto também sobre o sistema aquífero, advindo da necessidade de remediação das perdas pluviométricas para que a demanda pública por água possa continuar a ser atendida. É imprescindível um monitoramento contínuo da região e uma gestão adequada dos seus recursos hídricos, de forma a preservar a integridade do sistema aquífero da região.

Palavras-Chave: Excedente Hídrico; Médio São Francisco; Thornthwaite; Hidrologia.

POTENCIAL HIDROGEOLÓGICO DE COUTO DE MAGALHÃES DE MINAS - MG

Ana Maciel de Carvalho¹, Gabriela Alves Marinho², André Sena Costa³

¹UFVJM, ana.carvalho@ufvjm.edu.br; ²UFVJM, gabi_a_m_@hotmail.com; ³UFVJM, andreesena1@gmail.com

RESUMO

Conhecer o potencial hidrogeológico de uma região é essencial para valorizar a qualidade de vida da população, trazendo melhorias nos diversos setores do município, tais como economia, educação, saúde dentre outros. Uma vez que a água é vital, o conhecimento hidrogeológico é a base para uma eficaz gestão dos recursos hídricos, principalmente em cenários de mudanças climáticas, aumento da população e demanda crescente. Couto de Magalhães de Minas se insere num contexto peculiar, localizado na região norte do estado de Minas Gerais, na Bacia Hidrográfica do rio Jequitinhonha, região de clima subtropical semiseco e historicamente marcada pela exploração mineral de ouro e diamante às margens do rio Manso. As rochas metamórficas caracterizam os aquíferos fraturados cujos poços apresentam vazões baixas. No entanto, a escassez de estudos geológicos e hidrogeológicos de detalhe dificultam a compreensão do local e, assim, o desenvolvimento do município. Nesse sentido, o objetivo do trabalho foi realizar um estudo geológico para nortear as análises hidrogeológicas e encontrar áreas com maior potencial hídrico a fim de orientar a gestão das águas do município. Para desenvolver a pesquisa foram coletadas informações fisiográficas, geológicas e hidrogeológicas regionais, realizadas análises geofísicas (magnetometria) e extração de lineamentos estruturais, tendo como base as imagens Alos Palsar; além de 20 dias de campo para reconhecimento da litologia, geologia estrutural rúptil e hidrografia locais e cadastramento de poços perfurados no município. A área mapeada apresenta complexidades relacionadas aos seus compartimentos tectônicos, assim como à evolução geotectônica dos conjuntos. Situada no nordeste da Serra do Espinhaço Meridional, reúne duas unidades geotectônicas maiores: o Supergrupo Espinhaço e o Grupo Macaúbas. As drenagens da área pertencem à sub-bacia do rio Manso, rio perene, porém com padrão muito distinto no período seco e úmido, que por sua vez pertence à bacia do rio Jequitinhonha. Durante os levantamentos, foram cadastrados 11 poços tubulares ativos, porém poucos com informações relevantes, além de um histórico de poços secos. Foram traçados manualmente 428 lineamentos na área e realizados diagramas de rosetas para seus azimutes. Estes mostraram-se dispersos, porém com uma leve preponderância para as direções NW e NE, sendo discretizados para cada unidade litológica. Interpretando o mapa de lineamentos, as maiores densidades se encontram nas porções noroeste e central da área, com pontos quentes sobre as formações do Grupo Macaúbas, e no contato litológico, indicando possível zona para maior percolação de água subterrânea. Foram coletadas 89 medidas de fraturas na área, e com base nos diagramas de roseta, foram notados 3 grupos principais: (1) 0-10 NE, (2) 60-70 NE e (3) 20-30 NW. A maioria das fraturas apresentam um ângulo de mergulho elevado, sendo os grupos 2 e 3 com indícios de água observados em campo. A relevância deste trabalho é notada uma vez que a demanda pelo recurso hídrico é crescente e, localmente, tem-se observado a dificuldade de atender a população apenas com as águas superficiais, notado, principalmente, na época de seca em que algumas drenagens intermitentes param de atender a população que cria uma demanda por águas subterrâneas.

Palavras-Chave: Aquíferos Fraturados; Potencial hidrogeológico; Serra do Espinhaço; Couto de Magalhães de Minas-MG

AÇÕES ANTRÓPICAS E AQUÍFEROS CÁRSTICOS: UMA QUESTÃO GLOBAL

Beatriz FONSECA¹; Paulo GALVÃO¹

¹ Laboratório de Estudos Hidrogeológicos [LEHID], Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, CPMT-IGC, Av. Pres. Antônio Carlos, 6627, Campus Pampulha, Belo Horizonte (MG), 31270-901, Brasil.

RESUMO

Terrenos cársticos são, hidro(geo)logicamente, regiões onde a dissolução de rochas potencialmente solúveis podem originar feições cársticas superficiais e nascentes subterrâneas, onde a água é armazenada em redes de condutos heterogêneas. O carste cobre cerca de 20% da superfície terrestre e abriga diversos aquíferos importantes que podem servir de abastecimento de água. No entanto, o caráter dinâmico das redes de condutos desses sistemas os torna mais vulneráveis a mudanças ambientais e à contaminação de aquíferos. Com base em revisão bibliográfica, esta pesquisa visa trazer à luz como as ações antrópicas impactam os terrenos cársticos, como essas questões afetam a população e o que pode ser feito para mitigar tais efeitos. Os primeiros resultados sugerem que as ações antrópicas podem impactar os sistemas cársticos de duas maneiras: direta e localmente (contaminação de aquíferos, uso do solo, escassez de água) e indireta e globalmente (mudanças climáticas e alterações nos ciclos hidrológicos). Como consequência, a população pode enfrentar problemas no abastecimento de água, do ponto de vista qualitativo e quantitativo. Além disso, a literatura revela que a fragilidade dos ecossistemas de ambientes cársticos pode resultar no quadro irreversível de superexploração, como no Aquífero Cárstico de Sete Lagoas (Brasil), e na alteração da capacidade de recarga do aquífero, como no Aquífero Edwards (EUA). Esta pesquisa é importante para compreender os impactos contínuos em terrenos cársticos e avaliar os principais métodos que auxiliam na mitigação desses problemas, além de destacar a importância de avançar/aprofundar a pesquisa científica. O avanço da técnica de Recarga Artificial Gerenciada de aquíferos (RAG) no Brasil e o fortalecimento de iniciativas públicas e privadas serão estudados no contexto apresentado. Por fim, espera-se estimular a conexão entre iniciativas privadas, instituições públicas e pesquisas acadêmicas, bem como fortalecer os comitês de bacias hidrográficas, com o fim de fortalecer essas questões e incentivar a participação popular na tomada de decisões.

Palavras-Chave: Carste; Impactos Ambientais; Hidrogeologia; Mudanças Climáticas; Recarga Artificial.

MODELO HIDROGEOLÓGICO INTEGRADO PARA A AVALIAÇÃO DA CONTENÇÃO HIDRÁULICA NATURAL EM CONTEXTOS SENSÍVEIS DE MINERAÇÃO

Caio Macedo^{1,2}, Isabella Andrade^{1,3}, Felipe Costa^{1,4}, Ana Ferreira^{1,5}, Pedro Leite^{1,6}, Andreia Resende^{1,7}, Lilian Hubner^{1,8}, Leonardo Machado^{1,9}

¹WSP Brasil, ²caio.macedo@wsp.com; ³isabella.andrade@wsp.com; ⁴felipe.costa@wsp.com; ⁵ana.ferreira@wsp.com; ⁶pedro.leite@wsp.com; ⁷andreia.resende@wsp.com; ⁸lilian.hubner@wsp.com; ⁹leonardo.machado@wsp.com;

RESUMO

A gestão de águas subterrâneas na mineração, por vezes, demanda abordagens técnicas integradas que possibilitem a compatibilização entre a operação das atividades e a preservação de sistemas aquíferos. A contenção de contaminantes em zonas de baixa permeabilidade, especialmente aquelas associadas a aquíferos fraturados, representa um desafio técnico, considerando a complexidade estrutural e hidrogeológica desses ambientes. Este estudo teve como objetivo avaliar a efetividade da contenção hidráulica de uma cava – no cenário de fechamento, em uma área cujo fluxo subterrâneo é regido por falhas e fraturas e um meio no entorno de baixa permeabilidade. Como ferramenta para essa estimativa elaborou-se de um modelo numérico tridimensional. A área modelada compreende aproximadamente 26 km² e foi discretizada em 41 camadas com elementos prismáticos triangulares, respeitando as características geológicas locais e permitindo a representação precisa das condições estratigráficas e estruturais. O modelo foi parametrizado com base em dados de campo, ensaios hidráulicos e informações estruturais, com destaque para a incorporação de zonas de falha e fraturas mapeadas com alto nível de detalhamento. A estimativa da recarga foi realizada por meio do método APLIS modificado, incorporando variações sazonais e alterações antrópicas no uso do solo, como a expansão da cava e o preenchimento com rejeitos durante a fase de fechamento. Foram estabelecidas condições de contorno transientes para simular a dinâmica do sistema ao longo do tempo, com a consideração de divisores hidrogeológicos, zonas de descarga e potenciais conectividades com estruturas permeáveis. A calibração do modelo em regime permanente apresentou erro NRMS inferior a 10%, e a calibração em transiente representou os níveis d'água registrados pelos instrumentos no tempo, validando a qualidade da simulação e sua adequação às condições reais do sistema. Os resultados indicaram que a cava atua como zona de baixa carga hidráulica, funcionando como sumidouro local, e que os divisores naturais limitam a propagação de plumas de contaminação provenientes do lago futuro. A simulação do transporte de partículas em até 60 anos posteriori ao fechamento demonstrou trajetórias confinadas ao interior da estrutura, evidenciando a eficácia da contenção hidráulica. O modelo também foi utilizado para estimar as vazões de bombeamento requeridas para manter os níveis d'água acima dos rejeitos em um intervalo seguro, assegurando a desconexão com falhas condutivas e a proteção de nascentes localizadas nas proximidades. Os resultados obtidos fornecem subsídios técnicos para a avaliação de segurança ambiental de estruturas minerárias, além de reforçar o papel da modelagem numérica como ferramenta para a análise de risco hidrogeológico, o planejamento de estratégias de monitoramento e a tomada de decisão em processos de licenciamento ambiental.

Palavras-chave: Modelagem hidrogeológica; Aquífero fraturado; Contenção hidráulica; Transporte de contaminantes; Mineração sustentável.

CORRELAÇÃO ENTRE VARIAÇÕES GRACE-GWS E NÍVEL DE POÇOS DA BASE RIMAS-SGB NA PORÇÃO DA BACIA DO PARANÁ

Dandara Saraiva Bezerra¹, Carlos Alberto Mendonça².

¹Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas - IAG/USP, dandara.saraiva@usp.br; ²Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas - IAG/USP, carlos.mendonca@iag.usp.br

RESUMO

Com o agravamento dos impactos das mudanças climáticas, missões espaciais como a Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) e sua missão sucessora, GRACE Follow-On (GRACE-FO), vêm se destacando na detecção de variações temporais do campo gravitacional terrestre, o que permite indicar alterações no volume de água subterrânea em escala global e regional. Contudo, essas análises geralmente se baseiam em variações agregadas de conjuntos de poços subterrâneos e de dados gravitacionais, gerando uma lacuna na avaliação individualizada por poço — uma abordagem mais específica e localizada. Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo verificar uma possível correlação na variação temporal do nível de água subterrânea por poço na porção norte da Bacia do Paraná, abrangendo 76 poços dos aquíferos Bauru-Caiuá e Guarani, os quais são importantes fontes de abastecimento municipal. Foram utilizadas duas bases de dados: nível da água em poços, disponibilizada pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) por meio do projeto Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas (RIMAS); e os dados de variação da massa superficial terrestre, fornecida pela NASA, em parceria com o German Research Centre for Geosciences (GFZ). O termo Total Water Storage (TWS), estimado a partir do sistema Global Land Data Assimilation System (GLDAS), representa a variação total da água armazenada na superfície terrestre, com base na diferença entre duas passagens consecutivas dos satélites GRACE. Esse valor, gerado por modelos que integram dados de satélites e observações terrestres, inclui todas as frações hídricas, com destaque para a subterrânea — principal foco deste estudo. Para se obter o Groundwater Storage (GWS), é utilizado o modelo hidrológico do GLDAS LSM (Catchment land surface model), que subtrai da TWS as demais componentes do armazenamento hídrico, como a água contida no solo, água congelada em forma de neve ou gelo, e a água superficial presente em rios, lagos e vegetação. Para determinar os valores mensais de cada um dos fatores do balanço hídrico, foi desenvolvido um código em Python que associa, para cada poço, as duas bases de dados utilizadas, com base na data e na coordenada geográfica mais próxima do poço. A partir dessa integração, foi gerada uma tabela que possibilitou a análise do gráfico crossplot entre os dados de nível dos poços e os valores de armazenamento subterrâneo (GWS), por meio da plotagem de uma regressão linear utilizando a função `linregress`, da biblioteca `scipy.stats`. Por fim, o conjunto de poços foi ranqueado segundo o índice de correlação de cada poço, determinado pelo coeficiente de determinação (R^2), e verificou-se que apenas $\frac{1}{3}$ dos poços analisados apresentaram valores situados no intervalo considerado como indicativo de uma correlação linear boa. Para esses poços, a análise e interpretação do coeficiente angular podem indicar uma associação com características geológicas das formações em que estão inseridos, como a porosidade, permitindo uma melhor compreensão do comportamento do fluxo hídrico subterrâneo.

Palavras-Chave: Gravimetria por satélite; Aquífero Guarani; Aquífero Bauru; GRACE; Poços de Monitoramento.

Caracterização pluviométrica Sinclinal Moeda e Homoclinal Serra do Curral no Quadrilátero Ferrífero

Daniela Teixeira Dutra¹, Rodrigo Sérgio de Paula², Jorge Geraldo Roncato Júnior³

¹UFMG, danidtd@ufmg.br; ²UFMG, depaula.ufmg@gmail.com; ³UFMG, roncato@ufmg.br

RESUMO

O sinclinal Moeda e o homoclinal Serra do Curral, localizados no Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais, representam formações geológicas de grande relevância ambiental, hidrogeológica e socioeconômica. Essas estruturas abrigam aquíferos que contribuem para o abastecimento da Região Metropolitana de Belo Horizonte e, apesar da importância para o abastecimento hídrico, ainda existem lacunas no que diz respeito à caracterização pluviométrica, essencial para compreender os processos como recarga de aquíferos, mitigação de eventos extremos como secas e enchentes, por exemplo. Este estudo visa caracterizar o regime pluviométrico do sinclinal Moeda e homoclinal Serra do Curral, utilizando dados históricos de precipitação disponíveis no portal HidroWeb da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), com o intuito de compreender o comportamento sazonal das chuvas na região. Com base nas séries históricas de 40 anos (1923-1983) foram coletados dados de precipitação das estações: Itabirito Linigrafo (2043060) e Sabará (1943006), Fazenda Água Limpa Jusante (2043056), Cachoeira Do Campo (2043048), Congonhas-Linigrafo (2043013), Lagoa Grande (Mmv) (2043002), Itabirito Linigrafo (2043060), Caixa De Areia (1943022), Morro Redondo (1943082), Mineração Morro Velho (194300), Caeté (1943010) através da plataforma HidroWeb (www.snirh.gov.br/hidroweb). Os dados foram organizados em planilhas eletrônicas, a precipitação é dada pela média dos totais mensais e somatório anual apresentados. As estações pluviométricas que apresentaram a maior média anual foram: 1943010 e 1943006 com 1441,62 mm e 1375,22 mm respectivamente, essas pertencentes ao homoclinal Serra do Curral. E as estações pluviométricas com o menor índice de chuva foram: 194300 e 2043013, com precipitações anuais de 1073,63mm e 1176,30mm situadas no Sinclinal Moeda. O padrão climático observado é nitidamente sazonal, com concentrações significativas de chuva no verão, o inverno é marcado por escassez hídrica, os dados reforçam a predominância do clima tropical de altitude, com estação chuvosa bem definida. Foi observada uma tendência de redução das chuvas ao longo dos anos, possivelmente influenciada por mudanças climáticas regionais. Na estação 1943010, a média anual de chuvas nos primeiros dez anos de registros foi de 721,32 mm. Já nos últimos dez anos, essa média caiu para 686,37 mm — uma redução de cerca de 4,8%. Na estação 194300, que apresentou os menores índices de chuva da área estudada, a diminuição foi ainda mais significativa. A média anual dos primeiros dez anos foi muito superior à dos últimos dez, resultando em uma queda de aproximadamente 92,69%. Este estudo preenche uma lacuna ao reunir e sistematizar dados de 40 anos, sendo fundamental para gestão dos recursos hídricos e avaliação de possíveis riscos geológicos pois, a dinâmica pluviométrica influencia diretamente na recarga dos aquíferos, disponibilidade de água superficial e subterrânea e no risco de erosão e escorregamentos. Como limitação, destaca-se a cobertura incompleta de dados das estações pluviométricas, podendo citar a cidade de Moeda que não apresenta dados de nenhuma estação, outras cidades possuem estações registradas mas com informações incompletas ou inexistentes e ainda, algumas cidades não estão no portal hidroweb, como Jeceaba.

Palavras-Chave: precipitação, pluviometria, hidrogeologia, chuva, sazonalidade.

ANÁLISE DE FLUORETOS EM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO DE BOM JARDIM EM BOM JESUS DO ITABAPOANA - RJ

Eduardo Alves Cassiano¹, Jenessa Florencio Vicente Lima², Daniel Pérez Bertachini³, Clóvis Souza Ferreira⁴, Pedro Henrique da Silva Assunção⁵.

¹Universidade Federal do Espírito Santo, eduardo.cassiano@edu.ufes.br; ²Universidade Federal do Espírito Santo, jenesca.lima@ufes.br; ³MDGEO, daniel@mdgeo.com.br; ⁴MDGEO, clovis.ferreira@mdgeo.com.br; ⁵ Universidade Federal de Minas Gerais, pedroassuncao94@hotmail.com.

RESUMO

O trabalho de conclusão de curso analisou a presença de fluoretos em águas subterrâneas na região de Bom Jardim, no município de Bom Jesus do Itabapoana – RJ. A pesquisa justifica-se pela alta incidência de casos de fluorose dentária na região, um problema de saúde pública relacionado à ingestão excessiva de flúor. O estudo identificou as fontes naturais de fluoreto e avaliou os fatores geológicos que contribuem para a contaminação elevada por F⁻ em águas subterrâneas.

A metodologia aplicada envolve a coleta e análise de amostras de água de seis poços (cinco poços tubulares profundos e um raso), em dois períodos (chuvoso e seco), para avaliar a variação da concentração de fluoretos e outros parâmetros hidroquímicos. A pesquisa utilizou equipamentos como medidor de fluoreto e difratômetro de raios X (DRX) para identificar a presença de fluoretos em águas subterrâneas e sua possível correlação com litologias locais, como mármore, ortogneisses e ortogranulitos.

Os resultados indicaram que as concentrações elevadas de fluoretos estão associadas à lixiviação de minerais (fluorita, fluorapatita e flogopita) presentes em rochas metamórficas encontradas na região. Em diversos pontos, as concentrações de fluoretos ultrapassaram o limite estabelecido pela legislação ambiental para consumo humano, indicando risco potencial à saúde da população local. Os dados foram comparados com outros estudos que apresentam alta incidência de fluoretos, como, por exemplo, na região do São Francisco, em Minas Gerais – Brasil. A discussão dos dados indicou que a geologia local e os fatores hidrogeológicos influenciam diretamente na mobilização dos fluoretos nas águas subterrâneas. As análises hidroquímicas apontaram uma correlação entre os parâmetros de pH, condutividade elétrica e fluoretos. A variação entre os períodos chuvoso e seco demonstrou que a lixiviação e a concentração de fluoretos são mais intensas em determinados períodos.

Conclui-se que a contaminação por fluoretos nas águas subterrâneas de Bom Jardim – RJ ocorre naturalmente, principalmente devido à lixiviação de minerais do mármore, e os poços tubulares profundos apresentam concentrações acima do limite de 1,5 mg/L F⁻ (Consumo Humano – VMP), enquanto os poços tubulares rasos apresentam abaixo da resolução. A composição hidroquímica da água é influenciada pelo contato com a litologia local, sendo bicarbonatada cálcica. Logo, recomenda-se seguir os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 396/2008 – Consumo Humano, a fim de evitar riscos à saúde.

Palavras-Chave: Fluoretos; Flúor; Hidroquímica; Poços; Rochas e Minerais.

AValiação DO COMPORTAMENTO TEMPORAL DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

Ernesto José García Canellas¹, André Ferreira Rodrigues², Bruno Melo Brentan³

¹Universidade Federal de Minas Gerais, ernejosecanellas@gmail.com; ²Universidade Federal de Minas Gerais, afrodrigues@ehr.ufmg.br; ³Universidade Federal de Minas Gerais, brentan@ehr.ufmg.br

A compreensão do comportamento temporal das águas subterrâneas é fundamental para auxiliar a gestão integrada e o uso sustentável dos recursos hídricos. A análise destas variações temporais permite a identificação de tendências, estimar os impactos de forçantes como as ações antrópicas e mudanças climáticas, além de orientar formações de políticas públicas. O presente estudo avalia o comportamento temporal de parâmetros relevantes relacionados ao armazenamento de água subterrânea no estado do Rio Grande do Sul, utilizando uma base de dados confiável e técnicas estatísticas adequadas para a avaliação de séries temporais ambientais. A pesquisa visa evidenciar dados significativos e compreender as tendências hidrológicas ao longo do tempo, relacionando análises integradas de precipitação e vazão com os recursos hídricos subterrâneos, com foco em regiões representativas do território gaúcho. Concomitantemente, será realizada a análise dos postos de monitoramento de águas subterrâneas localizados nas bacias hidrográficas selecionadas, visando à correlação entre os dados obtidos nas etapas de avaliação e os valores hidrométricos registrados nesses pontos de medição. Para isso, foi aplicado o teste de tendência Mann-Kendall modificado, uma ferramenta estatística não paramétrica amplamente utilizada em ciências ambientais, visto que este teste corrige a autocorrelação dos dados e proporciona uma maior confiabilidade nos resultados, diferentemente de outros tipos de testes estatísticos semelhantes. A análise considerou séries temporais de 1980 a 2024, selecionando estações pluviométricas e fluviométricas da Agência Nacional de Águas com menos de 10% de falhas em suas medições na série temporal estudada, e contemplando sub-bacias que apresentaram, no mínimo, a interseção de uma estação pluviométrica, uma estação fluviométrica e um poço de monitoramento. Foram identificadas 12 microbacias distribuídas entre as regiões hidrográficas Uruguai, Jacuí e Patos-Mirim. No total, 77 estações pluviométricas foram analisadas, das quais nenhuma apresentou tendência significativa na área de estudo. Em relação à vazão, 34 estações foram avaliadas, sendo 22 sem tendência significativa e 12 com tendência decrescente. Os resultados revelam estabilidade nas séries de precipitação, porém apontam declínio em parte das séries de vazão, sugerindo possíveis alterações na dinâmica hidrológica regional. A principal contribuição do estudo reside na identificação de áreas potencialmente vulneráveis à redução dos recursos hídricos superficiais, fornecendo subsídios técnicos para o planejamento e a gestão integrada das águas no estado, além de destacar a importância de estudos contínuos que considerem a variabilidade climática e suas implicações para os sistemas aquíferos.

Palavras chave: Recurso hídricos; Teste de Mann-Kendall modificado; Monitoramento hidrológico; Sub-bacias hidrográficas; Gestão de águas.

DINÂMICA DE FLUXO SUBTERRÂNEO NA BACIA DO RIO SÃO MIGUEL: APLICAÇÃO DE TRAÇADORES CORANTES FLUORESCENTES.

Gabriel Lourenço Carvalho de Oliveira^{1,2}, Paulo Henrique Ferreira Galvão¹, Pedro Henrique da Silva Assunção^{1,2}, Wendy Tanikawa^{1,2}, Lucas Padoan de Sá Godinho¹

¹Laboratório de Estudos Hidrogeológicos – LEHID-CPMTC-UFMG lehid.ufmg@gmail.com, ²Sociedade Excursionista e Espeleológica – SEE see@ufop.edu.br

RESUMO

A Bacia do Rio São Miguel, localizada na Província Cárstica do Alto São Francisco (MG), apresenta um aquífero cárstico desenvolvido em rochas carbonáticas da Formação Sete Lagoas (Grupo Bambuí), caracterizado por sua heterogeneidade e anisotropia. Esse aquífero é de extrema importância para o abastecimento de água nas cidades de Córrego Fundo e Pains, além de ser fundamental para outras atividades econômicas e ambientais. A complexidade das estruturas cársticas, geradas por diferentes contextos tectônicos e metamórficos, gera diversas famílias de fraturas e descontinuidades principais, como falhas normais e transcorrentes, ao longo do limite da bacia. Essa complexidade torna o entendimento do fluxo subterrâneo um desafio, especialmente devido à ausência de drenagens superficiais em áreas chave, típicas de sistemas cársticos. O objetivo deste estudo foi aplicar a técnica de traçadores corantes fluorescentes para confirmar as rotas subterrâneas de fluxo hídrico na bacia. Foram escolhidos três sistemas de fluxo subterrâneo principais, definidos a partir de pontos estratégicos de injeção e monitoramento. Os traçadores utilizados foram Rodamina WT, Fluoresceína e Tinopal, monitorados por fluorímetros de campo e carvão ativado para análises quantitativas e qualitativas. Quatro pontos de injeção e cinco de monitoramento foram estabelecidos ao longo dos sistemas, com distâncias de fluxo que variaram de 1,5 km (R1 – Serra Azul), 1,7 km (R3 – Múcio) e 4,8 km (R2 – Vaca Queimada). Os resultados confirmaram a existência de três novas rotas de fluxo subterrâneo dentro da bacia. Essas novas rotas apresentam trajetórias interligadas entre feições cársticas como cavernas, dolinas, surgências e sumidouros. O tempo médio de trânsito dos traçadores e as distâncias percorridas indicam uma dinâmica de fluxo rápido no aquífero, revelando áreas de maior condutividade hidráulica nos condutos subterrâneos. Esses resultados são fundamentais para a melhoria do entendimento sobre o comportamento do aquífero, permitindo uma estimativa mais precisa das áreas de recarga e descarga. Além de fornecer dados empíricos valiosos para a caracterização do fluxo subterrâneo, os resultados com o uso de traçadores fluorescentes contribuirão para o detalhamento da superfície potenciométrica da bacia, além da definição das sub-bacias hidrográficas e hidrogeológicas. Este estudo tem importância para o planejamento e a proteção dos recursos hídricos locais, especialmente diante da pressão das atividades econômicas, como mineração e agricultura, e do risco de contaminação do aquífero.

Palavras-Chave: Traçadores Corantes; Hidrogeologia Cárstica; Carste; Hidrodinâmica.

SÍNTESE DOS ESTUDOS DE RECARGA DESENVOLVIDOS NOS AQUIFÉROS DA APA CARSTE DE LAGOA SANTA, MG

Gabriela Meira Teixeira¹, Rodrigo Sérgio de Paula²

¹Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, gabrielameira1998@gmail.com; ² Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, depaula.ufmg@gmail.com.

RESUMO

A Área de Preservação Ambiental (APA) de Lagoa Santa foi fundada em 1991, mas já é palco de diversos estudos científicos muito antes disto, ainda no século XIX, com as descobertas arqueológicas de cientistas como Piter Lund. A curiosidade por esta região se deve às suas riquezas espeleológicas, arqueológicas, faunísticas, florísticas, geológicas e hidrogeológicas. Isto porque trata-se de uma região cárstica, constituída por rochas pelito-carbonáticas da base do Grupo Bambuí, e que são responsáveis pela formação deste terreno cárstico único e diverso, inclusive no âmbito de recursos hídricos, já que, nesta região, há formação de sistemas aquíferos complexos, por onde a água percola preferencialmente por sistemas de dutos e cavernas subterrâneas, e que, por esta e outras razões, o escoamento superficial através de rios e córregos é menos expressivo que o escoamento subterrâneo. Por conta deste e de outros fatores, estudos envolvendo a relação entre água superficial e subterrânea a partir da recarga são tão importantes nestes sistemas cársticos. De forma a entender mais profundamente esta dinâmica, foi realizada uma síntese dos principais trabalhos desenvolvidos no intuito de se investigar as dinâmicas de fluxo e as estimativas de recarga. Destaca-se como pesquisa pioneira neste sentido o trabalho de Auler (1994) que, além de definir domínios hidrogeológicos, estabeleceu importantes rotas de fluxo, o que ajudou estudos posteriores a definir o caminho preferencial da água subterrânea e, conseqüentemente, as áreas potenciais para recarga e descarga do aquífero. Teodoro (2019), em seu trabalho de traçadores corantes, propôs o aprofundamento dos conhecimentos acerca das interconexões hidráulicas e configurações da recarga e descarga com a injeção de traçadores corantes em mais de 50 pontos. No mesmo ano, De Paula (2019), além de definir o modelo conceitual de fluxo de toda região da APA, estimou quantitativamente a recarga utilizando, para tal, o método de deslocamento da curva de recessão de Rorabaugh (1964) e obteve um percentual médio geral da área de 11% da precipitação anual. Nesta síntese sobre recarga na APA de Lagoa Santa, merece destaque o trabalho mais recente desenvolvido por Teixeira (2020) que calculou a recarga empregando para tal quatro métodos, dois deles utilizando como base a separação de hidrogramas, a citar o método de Rorabaugh (1964), com a utilização e dados de vazão e pluviometria diárias, e o método de Lyne e Hollick (1979), adaptado por (2001) para aplicação em séries de monitoramento mensais. O terceiro método foi o da variação do nível d'água (VNA), de Healy e Cook (2002), e o quarto foi o APLIS adaptado para estimativa da recarga por geoprocessamento. Os quatro métodos demonstraram ser aderentes, e retornaram valores médios de 9,20% a 16,47% da pluviometria anual. Tal estudo foi importante, não só por retornar índices fidedignos, mas também por propor o zoneamento das áreas de recarga por regiões mais e menos propensas à recarga, sendo possível melhorar o entendimento da contribuição real das regiões altamente carstificadas para a recarga, de forma a permitir a melhor gestão destes ambientes que continuem para a manutenção de suas reservas de água subterrânea.

Palavras-Chave: Recarga; APA Carste de Lagoa Santa; Hidrogramas; Variação do Nível d'Água; APLIS.

ZONAS POTENCIAIS PARA OCORRÊNCIA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA A PARTIR DE CONTROLES ESTRUTURAIS E MORFOLÓGICOS EM JOSÉ GONÇALVES DE MINAS (MG)

Guilherme Cristian Andrade de Freitas¹, Igor Alves Morales², Henry Shigueru Tanaka³.

¹Geólogo pela Universidade Federal de Uberlândia, guilhermecaf.geo@gmail.com;

²Geólogo pela Universidade Federal de Uberlândia, igormorales@hotmail.com;

³Geólogo pela Universidade Estadual de Campinas, tanaka.shigueru@gmail.com;

RESUMO

O Vale do Jequitinhonha, localizado na porção nordeste de Minas Gerais, apresenta um histórico de escassez hídrica, intensificado pelos efeitos das mudanças climáticas. Esse cenário impõe limitações ao desenvolvimento socioeconômico regional, tornando a exploração de aquíferos através de poços tubulares uma alternativa estratégica para o abastecimento hídrico. Neste contexto, o trabalho tem como objetivo identificar lineamentos estruturais favoráveis à ocorrência de água subterrânea, a partir da análise da sua correlação com poços produtivos no município de José Gonçalves de Minas. A área de estudo, inserida no Médio e Baixo Jequitinhonha, posiciona-se geologicamente sobre rochas metassedimentares neoproterozoicas do Grupo Macaúbas, pertencentes à porção externa do Orógeno Araçuai, denominada Faixa Araçuai. Tratando-se de um aquífero fraturado, a produtividade dos poços está condicionada à presença de fraturas e falhas, que tendem a armazenar e conduzir o fluxo hídrico subterrâneo. Dessa forma, a análise integrada dos aspectos geológicos, estruturais e geomorfológicos da área é essencial para subsidiar a interpretação dos lineamentos e sua correlação com a ocorrência de água subterrânea. Na área de estudo, o Grupo Macaúbas é composto, da base para o topo, por: (i) quartzo-biotita-xisto feldspáticos intercalados a quartzitos ferruginosos da Formação Chapada Acauã; e (ii) quartzo-biotita-xisto feldspáticos da Formação Salinas, enquanto recobrem tais rochas (iii) sedimentos areno-silto-argilosos caulínicos da Formação São Domingos; e (iv) coberturas detrítico-coluvionares. Geomorfológicamente, o município apresenta duas unidades: (i) superfícies de aplainamento, associadas à Formação São Domingos e coberturas detrítico-coluvionares, com topos amplos e vales pouco dissecados; e (ii) patamares dissecados, com topos côncavos e convexos, associados às litologias mais resistentes do Grupo Macaúbas. Para identificação dos padrões estruturais, foram integrados, no software QGIS 3.28.7, dados de drenagens disponibilizados pelo IDE-SISEMA com imagens de relevo sombreado obtidas através do sensor Alos PALSAR. A partir da fotointerpretação manual, delimitou-se 387 lineamentos negativos, presumivelmente associados a zonas de fraturamento, dos quais foram calculados os azimutes a partir da ferramenta “calculadora de campo” do QGIS e organizados no Excel em quatro quadrantes (N0–45E, N45–90E, N0–45W e N45–90W). Ademais, foram analisados 20 poços tubulares com dados de vazão de teste outorgados pelo IGAM e cadastrados no SIAGAS, excluindo-se poços cacimba. Dentre os lineamentos, nota-se predominância das direções N45–90W (30,23%) e N0–45W (27,39%). Quanto aos poços tubulares, do total, 15 apresentam vazões entre 0 e 5 m³/h, dois entre 5 e 10 m³/h e três com mais de 10 m³/h. Os cinco poços mais produtivos (>5 m³/h) estão relacionados a lineamentos N45–90W, sobretudo N70–75W. Entre os 15 poços menos produtivos, dez ocorrem em superfície de aplainamento, unidade com menor grau de fraturamento. Nos patamares dissecados, quatro dos cinco poços apresentam vazões entre 3,5 e 4,93 m³/h, com três relacionados a lineamentos N20–30E. Esses padrões reforçam a influência combinada dos controles estruturais e morfológicos na produtividade dos poços. A partir dos resultados obtidos, pode-se perceber a importância da integração entre mapeamento estrutural e caracterização geomorfológica para a identificação de zonas com maior potencial hidrogeológico, subsidiando modelos preditivos eficazes e estratégias de gestão hídrica.

Palavras-Chave: Poços tubulares; Vale do Jequitinhonha; Controle estrutural; Água subterrânea; Gestão hídrica.

MONITORAMENTO HÍDRICO AUTOMATIZADO COM TRANSMISSÃO DE DADOS VIA SATÉLITE EM OPERAÇÕES MINERÁRIAS E FERROVIÁRIAS

Guilherme Ribas¹; Leandro Fonseca¹; Alexandre Gontijo¹; Edson Correa², Juliana Tanabe², Henrique Penido², Pedro Assunção³

¹ MecRoc Engenharia Ltda., Belo Horizonte (MG), Brasil, guilherme.ribas@mecroc.com.br, leandro.fonseca@mecroc.com.br, alexandre.gontijo@mecroc.com.br.

² Vale S.A., edson.correa@vale.com, juliana.tanabe@vale.com, henrique.penido@vale.com;

³ Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, CPMTC-IGC, Laboratório de Estudos Hidrogeológicos (LEHID), Belo Horizonte, Brasil, phassuncao@ufmg.br.

RESUMO

Os monitoramentos hidrológicos e climatológicos são fundamentais em empreendimentos industriais, minerários e de infraestrutura, especialmente em áreas com potencial de impacto socioambiental significativo. Além de atender às exigências legais, esse monitoramento contribui diretamente para a segurança operacional, a estabilidade de estruturas geotécnicas – como taludes, barragens e pilhas – e a mitigação de riscos em operações de transporte de cargas. Com o avanço das tecnologias de automação e comunicação remota, sistemas baseados em transmissão de dados via satélite vêm se consolidando como soluções eficazes para ambientes remotos ou de difícil acesso. Esses sistemas permitem o monitoramento contínuo de piezômetros, pluviômetros, medidores de vazão e sensores de nível d'água, com maior agilidade na aquisição e transmissão das informações. Entre os principais benefícios estão a redução de custos operacionais, o aumento da frequência de coleta, a confiabilidade dos dados e a diminuição da exposição de equipes em campo, fortalecendo a eficiência e a segurança dos processos de monitoramento ambiental. O objetivo deste trabalho foi apresentar um estudo de caso sobre a automatização de monitoramentos hídricos e ambientais com comunicação via satélite, aplicada em áreas de mineração e ao longo de ferrovias de escoamento de minério de ferro no Brasil, demonstrando as vantagens operacionais e os resultados obtidos com a adoção dessa tecnologia. Os resultados mostraram que esse tipo de monitoramento com sistema de comunicação satelital pode ser aplicado com operações de instalações de baixa complexidade, e maior agilidade em relação a sistemas convencionais de comunicação, que requerem maior infraestrutura para envio dos dados remotamente.

Palavras-Chave: Monitoramento; Parâmetros Ambientais; Automação; Transmissão Remota; Segurança.

ANÁLISE E CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA E ISOTÓPICA DAS ÁGUAS NA MINA CASA DE PEDRA, NO MUNICÍPIO DE CONGONHAS-MINAS GERAIS

Gustavo Mendes Soares Mota¹, Álvaro Costa Figueiredo¹, Daniela Cristina Costa Da Silva¹

¹Companhia Siderurgia Nacional – CSN, gustavo.mota@csn.com.br, daniela.costa@csn.com.br,
alvaro.figueiredo@csn.com.br

Resumo

O presente trabalho propõe uma análise dos parâmetros hidroquímicos e isotópicos das águas, com o intuito aprofundar os conhecimentos hidroquímicos e ampliar a malha de amostragem hidroquímica já existente na área da Mina Casa de Pedra, localizada no município de Congonhas/MG, propriedade da CSN Mineração. Este estudo visa não apenas compreender a dinâmica das águas e suas características, mas também oferecer subsídios para diferenciar os aquíferos locais. Para isso, foi realizada uma campanha hidroquímica e isotópica no ano de 2023 em 64 pontos que incluem poços tubulares profundos, piezômetros, nascentes e cursos d'água superficiais, onde foram analisados os parâmetros físico-químicos em todos os pontos, sendo que em 17 destes também foram realizadas análises isotópicas. Os dados foram tratados no *software* AquaChem através de diagramas de classificação das águas de Piper e Stiff. Os resultados foram comparados aos obtidos nas campanhas anteriores, realizadas entre os anos de 2004 a 2021, onde as águas foram classificadas em 3 grupos principais definidos com base nas suas características. Os dados isotópicos foram correlacionados com as cotas dos pontos amostrados a fim de definir as áreas de recargas e possíveis zonas de falhamento. O presente trabalho possibilitou a classificações das águas em 2 grupos distintos; na parte norte da área notam-se águas com idades mais novas, com alto valores de trítio e característica química marcada pela presença de cálcio e sódio, sendo classificadas em bicarbonatadas mistas. Já na parte sul, na área conhecida como Corpo Principal, nota-se águas com baixos valores de trítio, marcando idades mais antigas, maiores de 120 anos e características químicas marcada pela presença de cálcio e magnésio, sendo classificadas como bicarbonatadas cálcica-magnesianas. Pode-se interpretar que a área norte é considerada a área de recarga da mina e o fluxo hidrica subterrâneo é de noroeste para sudeste. Este estudo apresenta os resultados desta investigação, que contribui significativamente para o entendimento da dinâmica das águas na área da Mina e possibilita um maior conhecimento no manejo sustentável dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais da região.

Palavras-Chave: hidroquímica; hidrogeologia; parâmetros físico-químicos; mineração; água.

APLICAÇÃO DE MODELAGEM POR ELEMENTOS ANALÍTICOS PARA PLANEJAMENTO DE DESAGUAMENTO DE MINA

Gustavo Catão Silva Nascimento¹, Matheus Alonso Castelo Pena¹, Vinicius Schmit de Lima¹, João Victor de Araujo Rodrigues¹, Ciro Couto Bento¹, Camila Monteiro da Silva Oliveira¹.

¹WALM Engenharia, gustavo.nascimento@walmengenharia.com.br; matheus.pena@walmengenharia.com.br; vinicius.lima@walmengenharia.com.br; joao.rodrigues@walmengenharia.com.br; ciro.bento@walmengenharia.com.br; camila.silva@walmengenharia.com.br.

RESUMO

Os métodos numéricos tradicionais, como dos elementos finitos e das diferenças finitas, descrevem o comportamento do aquífero por meio de equações diferenciais parciais em um sistema de equações algébricas. Conceitualmente, o domínio é subdividido em pequenas células, sobre os quais as variáveis hidráulicas do meio são implementadas. Tais modelos são eficazes para representar heterogeneidades complexas, porém há um custo computacional elevado e pode haver maiores imprecisões próximas a condições de contorno pontuais. Em contraste, a modelagem por elementos analíticos (AEM) baseia-se na superposição de funções analíticas, permitindo boa precisão sem necessidade de discretização, e utilizando os *Discrete-Analytic-Domains*, que possibilitam modelar anisotropias variadas entre subdomínios e estruturas multicamadas. Este estudo almeja quantificar as vazões necessárias para viabilizar um plano de desaguamento para uma mina que explora minério de ferro no estado de Minas Gerais utilizando AEM. Para isso, foi empregado o *software* Anaqsim[®], cuja licença foi adquirida pela WALM Engenharia no ano de 2024, que permitiu simular o comportamento do nível d'água em regime transitório. Dentro dos limites do modelo, três domínios geológicos verticais foram definidos para uma única camada: Xistos, Formação Ferrífera e Gnaisses. A eles, foram atribuídos parâmetros hidrodinâmicos obtidos por meio de testes de aquífero e dados históricos de monitoramento. Os materiais foram considerados isotrópicos, com: condutividades hidráulicas de $1,8 \times 10^{-8}$ m/s, $1,7 \times 10^{-7}$ m/s e $4,5 \times 10^{-8}$ m/s; armazenamento específico de $1,0 \times 10^{-5}$ m⁻¹, $2,0 \times 10^{-3}$ m⁻¹ e $1,0 \times 10^{-5}$ m⁻¹; e porosidade eficaz de $1,0 \times 10^{-4}$, $2,5 \times 10^{-2}$ e $1,0 \times 10^{-4}$ para cada domínio, respectivamente. As condições de contorno do modelo estabelecidas foram: nas rochas encaixantes, os limites norte e sul foram definidos com condição de fluxo nulo; nos limites leste e oeste do modelo, foram aplicadas cargas hidráulicas baseadas em estimativas realizadas para o setor, considerando dados de nascentes e instrumentos de medição próximos aos contornos; a condição de contorno na porção norte da Formação Ferrífera foi definida como fluxo constante, enquanto na porção sul foi adotada uma condição de carga hidráulica definida, com fluxo ajustado em função das cargas hidráulicas adjacentes; a recarga foi estimada em 22% da precipitação total, com base em outros modelos hidrogeológicos. Os poços já existentes foram representados pelo método de carga hidráulica definida para permitir a quantificação das perdas de eficiência, enquanto os novos poços propostos foram inseridos com vazão definida, dois a dois, em intervalos trimestrais. Os resultados indicaram que o desaguamento poderia ser viabilizado por cinco poços posicionados fora da cava e um no centro da estrutura, bombeando 30 m³/h cada, ao longo de nove trimestres, atingindo um rebaixamento total de 103 m no centro da zona de interesse. As localizações exatas dos poços obtidas neste tipo de abordagem devem ser tratadas com cautela devido a simplificações inerentes ao método, tendo-se como resultado principal, a estimativa de distância entre poços em uma bateria, também a distância entre as baterias de poços propriamente dita, estimativa do rebaixamento do nível d'água subterrâneo ao longo do tempo, e os volumes bombeados.

Palavras-Chave: Modelagem por elementos analíticos; desaguamento de cava; vazão de projeto.

ANÁLISE E CORRELAÇÃO ENTRE A FLUVIOMETRIA DOS RIOS PARAOPEBA E DAS VELHAS E A PLUVIOMETRIA REGIONAL

Isabela Sabadini Henriques Caetano¹, Camila Evellyn Cruz².

¹Universidade Federal de Minas Gerais, isasabadini99@gmail.com; ²Universidade Federal de Minas Gerais, camevellyn@gmail.com.

RESUMO

A área de estudo localiza-se na porção leste do Quadrilátero Ferrífero e sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte, abrangendo aproximadamente 470 km². Essa região compreende parcialmente os municípios de Brumadinho, Nova Lima, Rio Acima, Moeda, Itabirito, Belo Vale, Ouro Preto, Congonhas e Jeceaba, caracterizando-se por intensa atividade antrópica e significativa importância hídrica e ambiental. O objetivo deste estudo é analisar e correlacionar a vazão dos rios Paraopeba e das Velhas com a pluviometria dos últimos 50 anos hidrológicos. A metodologia baseia-se na análise dos dados fluviométricos das estações Alberto Flores (40740000) e Honório Bicalho Montante (41199998), disponibilizados pelo Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH). A partir das vazões diárias, foram calculadas as médias mensais para cada ano hidrológico e uma média consolidada para o período. Os dados pluviométricos foram obtidos nas estações Ibirité (2044012) e Mineração Morro Velho (1943000), também disponibilizados pelo SNIRH, e selecionados com base na proximidade geográfica, qualidade da informação e extensão das séries históricas. Esses dados foram verificados, corrigindo inconsistências e preenchendo falhas com a média geral da estação. A estação fluviométrica Alberto Flores, no rio Paraopeba, foi correlacionada à estação pluviométrica Ibirité, e a estação Honório Bicalho Montante, no rio das Velhas, à estação pluviométrica Mineração Morro Velho. A estação Alberto Flores possui série histórica contínua de 60 anos (1964–2024), enquanto a estação Honório Bicalho Montante tem 50 anos de registros (1973–2023). Considerou-se o período comum entre as séries, de 1973 a 2023. Durante esse período, a vazão média do rio Paraopeba, medida na estação Alberto Flores, foi de 61,55 m³/s, variando entre 29,20 e 126,44 m³/s. A vazão média do rio das Velhas, medida na estação Honório Bicalho, foi de 29,24 m³/s, variando entre 16,95 e 46,90 m³/s. A partir do ano hidrológico 2013/2014, observou-se redução acentuada nas vazões de ambos os rios, com médias anuais abaixo das médias históricas até 2020/2021, mostrando tendência de declínio. No ano hidrológico 2019/2020, a estação Honório Bicalho registrou aumento atípico. Entre 2013/2014 e 2020/2021, a vazão média do rio Paraopeba foi de 38,85 m³/s e a do rio das Velhas foi de 19,98 m³/s. Essas quedas foram de 36,87% para o rio Paraopeba e 31,66% para o rio das Velhas. No mesmo período, a estação pluviométrica Ibirité apresentou média de 120,71 mm/ano, abaixo da média histórica de 143,30 mm/ano, resultando em redução de 15,77%. A estação Mineração Morro Velho registrou média de 116,30 mm/ano, também abaixo da média histórica de 130,31 mm/ano, resultando em redução de 10,75%. O comportamento das vazões nos dois rios seguiu variações cíclicas, semelhantes ao regime de chuvas. A diminuição das vazões e precipitações, a partir de 2013/2014, se estendeu até 2020/2021, com as variações negativas mais expressivas. Nesse intervalo, ocorreram anos com valores abaixo das médias históricas: cinco na Mineração Morro Velho e sete na Honório Bicalho Montante (não consecutivos) e oito na Alberto Flores e Ibirité (consecutivos). Conclui-se que a vazão dos dois rios, embora influenciada por outros fatores, se moldou a partir da precipitação local.

Palavras-Chave: Fluviometria; Pluviometria; Rio Paraopeba; Rio das Velhas; Quadrilátero Ferrífero.

MODELAGEM NUMÉRICA HIDROGEOLÓGICA DE FLUXO: GESTÃO SUSTENTÁVEL DA CAPTAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Isabella Andrade^{1,2}, Caio Macedo^{1,3}, Felipe Costa^{1,4}, Ana Ferreira^{1,5}, Pedro Leite^{1,6}, Andreia Resende^{1,7}, Lilian Hubner^{1,8}, Leonardo Machado^{1,9}

¹WSP Brasil, ²isabella.andrade@wsp.com; ³caio.macedo@wsp.com; ⁴felipe.costa@wsp.com; ⁵ana.ferreira@wsp.com; ⁶pedro.leite@wsp.com; ⁷andreia.resende@wsp.com; ⁸lilian.hubner@wsp.com; ⁹leonardo.machado@wsp.com;

RESUMO

Modelos hidrogeológicos numéricos de fluxo são amplamente utilizados para simular o rebaixamento do nível freático de cavas e auxiliar na tomada de decisões estratégicas em projetos de mineração. Com um enfoque sustentável, o modelo hidrogeológico numérico de fluxo, originalmente desenvolvido para avaliar o rebaixamento de uma cava no semiárido brasileiro, foi adaptado para analisar a disponibilidade hídrica e sua operacionalização. Essa nova projeção inclui poços de bombeamento estrategicamente localizados para acompanhar o avanço da mina em profundidade ao longo de alguns anos, com o objetivo de maximizar a eficiência e reduzir a quantidade de poços necessários. Além do rebaixamento da cava, o modelo numérico de fluxo incluiu baterias de poços de captação a jusante, organizados em um sistema de rotação trimestral 2:1, distribuídos em três bacias distintas. A vazão máxima de exploração desses poços corresponde à estimativa necessária para a viabilidade da operação, já que os poços de rebaixamento ao redor da cava não atendem completamente à demanda do projeto. A redução na disponibilidade hídrica dos poços rotativos é compensada pelo aumento na disponibilidade hídrica dos poços de rebaixamento. Essa abordagem de rotação trimestral 2:1 permitiu uma menor intervenção nos aquíferos, prolongando a vida útil dos poços e otimizando a recuperação dos recursos hídricos subterrâneos. Apesar do aumento horizontal dos cones de rebaixamento, a dinâmica vertical dos níveis freáticos se mantém consistente ao longo do tempo, refletindo a eficiência da rotação em mitigar impactos e promover a recuperação parcial do sistema durante os períodos de descanso. Com o tempo, o sistema de baterias de poços apresenta uma perda de eficiência devido ao contínuo rebaixamento dos níveis freáticos e à recuperação incompleta nos ciclos de desligamento avaliados. A redução na disponibilidade hídrica dos poços rotativos é compensada com o aumento na disponibilidade hídrica dos poços de rebaixamento.

Palavras-chave: Modelagem numérica; Gestão sustentável; Captação de água subterrânea

Avaliação da Dinâmica Hídrica Subterrânea da Fonte Dona Beja (MG) por Meio de Ensaio com Traçador

José Luiz Souza Louzada¹, Daniel Perez Bertachini², Rafael Coutinho Soares³, Maurício de Assis Nicolau Bertachini⁴, Lucas César Vaz Santos⁵, Michelle Cintra Abud Mariano⁶, Luiz Gustavo Moraes de Macedo⁷, Marcelo Henrique Oliveira⁸

¹MDGEO, jose.louzada@mdgeo.com.br; ²MDGEO, daniel@mdgeo.com.br; ³MDGEO, rafael.coutinho@mdgeo.com.br;

⁴MDGEO, mauricio@mdgeo.com.br; ⁵MDGEO, vazlucasesar@gmail.com; ⁶MOSAIC, michelle.abud@mosaicco.com;

⁷MOSAIC, luizgustavo.macedo@mosaicco.com; ⁸MOSAIC, marcelo.oliveira@mosaicco.com

RESUMO

Este estudo apresenta os resultados de um ensaio de traçador realizado nas mediações da Fonte Dona Beja, importante nascente localizada no município de Araxá (MG), situada no contexto hidrogeológico poroso-fissural do Complexo Carbonatítico do Barreiro, caracterizado por unidades litológicas heterogêneas e presença de zonas fraturadas que controlam o fluxo subterrâneo. A Fonte Dona Beja, localizada em uma zona de descarga do sistema aquífero, cuja dinâmica ainda carecia de comprovação quanto às conexões com os sistemas monitorados. A técnica de traçadores é amplamente utilizada para avaliar conexões hidráulicas e parâmetros hidrodinâmicos em aquíferos complexos. O objetivo deste trabalho foi identificar trajetórias preferenciais de fluxo subterrâneo e estimar velocidades aparentes, com foco na conectividade entre os poços monitorados (INA's) e a Fonte Dona Beja. Compreender a conectividade hidráulica e os tempos de trânsito entre pontos de recarga e exutórios naturais, como a Fonte Dona Beja, é essencial para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos. Foi utilizada uma solução com 3 kg do traçador fluorescente Tinopal CBS-X, diluída em 200 L de água, injetada no poço PA-01 em 14 de outubro de 2022. O monitoramento foi realizado por amostragem de água e carvão ativado, com sete campanhas semanais. Foram coletadas amostras pré-injeção para caracterização do background. A calibração do fluorímetro Turner GGUN-FL30 confirmou sensibilidade adequada para o intervalo de 1 a 1000 ppb. O traçador foi detectado em cinco pontos: INA 01, INA 02, INA 04, INA 05 e Fonte Dona Beja. A Fonte apresentou detecção após 28 dias, com concentração 32 vezes superior ao background e velocidade média de 4 m/dia. Os pontos INA 01 e INA 02 apresentaram detecção no mesmo período, com velocidades médias de 3 e 2,5 m/dia, respectivamente. O INA 04 indicou fluxo mais rápido (8 m/dia) com detecção em 36 dias, sugerindo uma trajetória preferencial para nordeste. O INA 05 registrou detecção mais lenta, com velocidade média de 1 m/dia. Os dados apontam para um fluxo predominante na direção noroeste, com ramificações secundárias para nordeste. A detecção do traçador na Fonte Dona Beja confirma sua conexão hidráulica com o ponto de injeção e sua posição como exutório de um sistema fraturado, com tempos de trânsito em torno de 30 dias. As variações nas velocidades sugerem compartimentações estruturais e influências locais de recarga. Os resultados contribuem significativamente para o entendimento da dinâmica hídrica e dos processos de recarga e circulação da água subterrânea na área de estudo. Esse conhecimento torna viável a proposição de medidas de gestão, como projetos de recarga gerenciada de aquíferos, com o objetivo de manutenção das vazões da Fonte Dona Beja e conservação do sistema aquífero que a sustenta.

Palavras-Chave: Traçador, Hidrogeologia, Parâmetros Hidrodinâmicos, Fonte Dona Beja, Recarga Gerenciada

A IMPORTÂNCIA DAS ÁREAS ALAGÁVEIS DAS PLANÍCIES DE INUNDAÇÃO PARA A METILAÇÃO DO MERCÚRIO EM BACIAS AMAZÔNICAS (NEGRO E SOLIMÕES)

Julia Dell'Isola Silva ¹, Thaís de Castro Paiva ¹, Olaf Malm ², Jean R. D. Guimarães ², Bruce R. Forsberg ³, Daniele Kasper ¹.

¹Universidade Federal de Minas Gerais, juliadellisola@gmail.com; thaisdecp@gmail.com; danielle.kasper@gmail.com

²Universidade Federal do Rio de Janeiro, olaf@biof.ufrj.br; jeanrdg@biof.ufrj.br

³Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, brforsberg@gmail.com

RESUMO

A biogeoquímica dos elementos pode variar em função de condições limnológicas e dos sedimentos. Na Amazônia, os tipos de água e o pulso de inundação podem tornar o ambiente mais propício a atividades microbiana de metilação do mercúrio. A avaliação das concentrações de metilmercúrio (MeHg) podem ajudar a entender esse processo. Este trabalho avaliou a influência da sazonalidade e dos parâmetros limnológicos e do sedimento nas [MeHg] na Amazônia. O trabalho foi conduzido nas bacias dos rios Solimões e Negro, com coletas na seca (novembro/2016) e cheia (junho/2017). Foi coletado amostras de água e sedimento. Na água, foram determinados: pH, oxigênio dissolvido (OD), carbono orgânico dissolvido (COD), temperatura e condutividade. No sedimento, foi avaliada matéria orgânica (MO, perda por ignição). Foram analisadas as [MeHg] em água total e na fração fina (<75 µm) dos sedimentos. A determinação das [MeHg] foi realizada por Cromatografia Gasosa (MERX, Brooks RandLabs). Para verificar as diferenças sazonais das [MeHg] foi utilizado o teste t student, e um modelo linear simples para verificar relações entre [MeHg] e os parâmetros. No Solimões, as [MeHg] na água foram significativamente maiores na cheia ($0,16 \pm 0,09$ ng/L, média $\pm$ desvio padrão) do que na seca ($0,03 \pm 0,01$ ng/L) ($t=3,2$; $p=0,01$). Na cheia, estudos pretéritos indicam o aporte do mercúrio e MO para o ecossistema aquático, gerando condições propícias à metilação do mercúrio. No Negro, [MeHg] na água foram semelhantes nos dois períodos ($0,07 \pm 0,027$ ng/L na cheia e $0,06 \pm 0,02$ ng/L na seca; $t=0,9$; $p=0,2$). Foram observadas relações entre [MeHg] e parâmetros limnológicos no Solimões: negativas para OD ($r^2=0,6$; $p=0,0001$) e temperatura ($r^2=0,2$; $p=0,04$); e positiva para COD ($r^2=0,5$; $p=0,001$). Isso reforça que a metilação pode estar ocorrendo mais intensamente em ambientes anóxicos e com maior COD, que favorecem a atividade bacteriana. Estudos anteriores indicam uma relação positiva entre [MeHg] e temperatura, mas o encontrado pode ser justificado por influência da sazonalidade. No Negro, não foram observadas relações significativas. No sedimento, as [MeHg] foram: $0,24 \pm 0,33$ ng/g (Solimões-seca), $0,42 \pm 0,36$ ng/g (Negro-cheia) e $0,57 \pm 0,32$ ng/g (Negro-seca). No Solimões, não foi possível avaliar a diferença sazonal, devido à falta de dados na cheia. Observou-se correlação positiva entre [MeHg] e MO no sedimento ($r^2=0,2$; $p=0,04$). No Negro, não houve diferença sazonais nas [MeHg] ($t=-1,2$; $p=0,9$), e não foi observada correlação entre [MeHg] e MO. A sazonalidade, os parâmetros limnológicos e MO nos sedimentos influenciaram as [MeHg] nas bacias de modos distintos. No Solimões, [MeHg] em água foram maiores na cheia. As concentrações de OD, COD e temperatura na água, assim como a MO nos sedimentos, apresentaram correlação com as [MeHg]. Por outro lado, no Negro, nem a sazonalidade nem os parâmetros influenciaram nas [MeHg]. Assim, conclui-se que a sazonalidade e os parâmetros avaliados influenciaram as [MeHg] apenas no Solimões.

Palavras-Chave: Ciclos biogeoquímicos; Metilmercúrio; Água; Sazonalidade; Pulso de inundação.

POTENCIOMETRIA E ANÁLISE DE FLUXO HÍDRICO DO SISTEMA AQUÍFERO GANDARELA

Leonardo Alves Reis¹, Rodrigo Sérgio de Paula², Pedro Augusto da Silva Rosa³, Paulo Henrique Ferreira Galvão⁴

¹Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, Programa de Pós- Graduação em Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais – Belo Horizonte (MG), Brasil. lar.geologia@yahoo.com.br; ² Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, Programa de Pós- Graduação em Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais – Belo Horizonte (MG), Brasil. depaula.ufmg@gmail.com; ³ Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, Programa de Pós- Graduação em Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais – Belo Horizonte (MG), Brasil. pedro.rosa.geo@gmail.com; ⁴ Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, Programa de Pós- Graduação em Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais – Belo Horizonte (MG), Brasil. hidropaulo@gmail.com.

RESUMO

O Sinclinal Gandarela está localizado à 65 km da capital Belo Horizonte e contextualizado na porção centro-norte do Quadrilátero Ferrífero. Composto por rochas metassedimentares do Supergrupo Minas, enquanto seu embasamento é composto pela sequência de rochas metavulcanossedimentares do Supergrupo Rio das Velhas e complexo metamórfico arqueanos. Na área de estudo encontra-se o Parque Nacional da Serra do Gandarela apresentando potencial socioambiental para preservação ambiental. Além disso, o Sinclinal Gandarela está parcialmente inserido na Área de Preservação Ambiental Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte possuindo aquíferos de características peculiares e complexas com expressivo potencial hídrico subterrâneo. O estudo é motivado pela ausência de dados regionais, relacionados aos recursos hídricos disponíveis, e a ausência da compreensão do fluxo hídrico regional no sinclinal. Dessa forma, tem-se o propósito do desenvolvimento do conhecimento no Sinclinal Gandarela, no contexto hidrogeológico regional, para entendimento da potenciometria e fluxo hídrico subterrâneo. Os métodos utilizados envolvem a aquisição de dados por meio de pesquisa bibliográfica, gestão da base de dados disponíveis nas entidades públicas da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD) e Agência Nacional de Águas (ANA). Em seguida, conta-se com a definição das unidades aquíferas do Sinclinal Gandarela, análise potenciométrica a partir de dados de nascentes e instrumentos medidores do nível d'água associados aos pontos de interseção entre linhas topográficas e drenagens, que por fim, possibilita a elaboração de um mapa de superfície potenciométrica por meio da análise de fluxo hídrico subterrâneo. As unidades aquíferas possuem particularidades hidrogeológicas e hidrogeoquímicas estando conectadas hidráulicamente por fraturas. Foram consideradas as unidades aquíferas quartzítica, Gandarela, Cauê, quartzítica Cercadinho; e unidades não aquíferas como o aquífero Batatal e Morro Grande baseados nos valores dos parâmetros hidrogeológicos e resultados de vazão para definir o Sistema Aquífero Gandarela. A potenciometria apresenta a topografia associada às drenagens superficiais para delimitar regiões de áreas de recarga, região ao longo do eixo do sinclinal e regiões divisoras de água que, em grande parte, estão relacionadas à Serra do Gandarela. A análise de fluxo indica que as águas superficiais e subterrâneas se apresentam em três composições principais dentro do Sinclinal Gandarela. A primeira composição das linhas de fluxo está diretamente relacionada à presença dos divisores topográficos d'água, nas proximidades dos limites da megaestrutura promovendo fluxos d'água para as áreas externas do sinclinal. A segunda composição está relacionada com os fluxos d'água com direção e sentido para a porção central do Sinclinal Gandarela onde percorre o Rio Barão de Cocais ou São João e a terceira composição está relacionada às zonas de recarga identificadas ao longo da estrutura. O Sistema Aquífero Gandarela tem as condições de contorno muito bem delimitados pelos litotipos que o cercam. A análise potenciométrica corrobora o que já é apresentado na literatura e indica que a geomorfologia tem grande influência no sistema de fluxo hídrico. O sinclinal garante que o fluxo hídrico superficial e subsuperficial são direcionados para as porções centrais, sentido ao eixo da megadobra do sinclinal, enquanto os flancos elevados nas bordas agem como divisores topográficos d'água.

Palavras-Chave: Sinclinal Gandarela; Mapa Potenciométrico; Linhas de Fluxo; Quadrilátero Ferrífero; Supergrupo Minas.

BALANÇO HÍDRICO DA CIDADE DE MONTES CLAROS (MG): UM ESTUDO DA RECARGA DOS AQUÍFEROS EM UM CLIMA SEMIÁRIDO

Letícia Pereira dos Santos¹, Ana Maria Nascimento Gonçalves², Rafael Fernando Marinho Quintão³, Vitória Gomes Macêdo⁴, Yasmin Andrade Lima⁵, Matheus de Castro Fiusa⁶.

¹Laboratório de Estudos Hidrogeológicos [LEHID], Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, letterpds@gmail.com; ²Laboratório de Estudos Hidrogeológicos [LEHID], Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, anamarianascgs@gmail.com; ³Laboratório de Estudos Hidrogeológicos [LEHID], Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, rafafmquintao@gmail.com; ⁴Laboratório de Estudos Hidrogeológicos [LEHID], Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, vitoriagomesmacedo3@gmail.com; ⁵Laboratório de Estudos Hidrogeológicos [LEHID], Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, yasminnandrad@gmail.com; ⁶Laboratório de Estudos Hidrogeológicos [LEHID], Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, math.castrogeo@gmail.com.

RESUMO

O balanço hídrico climatológico desempenha papel fundamental na hidrogeologia, visto que é possível estimar o excedente hídrico. Através da análise do excesso e da deficiência hídrica, é possível identificar os períodos em que houve recarga no aquífero ou maior evapotranspiração. Nesse trabalho, foi realizada uma análise do balanço hídrico da cidade de Montes Claros MG, considerando o ciclo hidrológico de outubro de 2023 a setembro de 2024. A região apresenta um clima semiárido, caracterizado por chuvas que se concentram no verão e possui longos períodos de seca nos outros meses. A região tem bastante relevância do ponto de vista hidrogeológico, pois está situada em uma área com presença de rochas carbonáticas do Grupo Bambuí, que por sua vez facilitam a infiltração da água devido as fissuras e fraturas presentes em suas rochas. Foi, portanto, utilizado o método de Thornthwaite e Mather (1955) para calcular o balanço hídrico e, para isso utilizou-se uma capacidade de armazenamento de água no solo de 100 mm. Os dados foram coletados da estação pluviométrica 1643037 monitorada pela Agência Nacional de Águas (ANA), escolhida por sua representatividade e atualidade, foi preciso também utilizar a temperatura mensal da estação A506 - MONTES CLAROS monitorada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Foram analisados os valores mensais de precipitação (P), evapotranspiração potencial (ETP), evapotranspiração real (ETR), armazenamento (ARM), excesso (EXC) e deficiência hídrica (DEF). Durante o período, foi registrado um total pluviométrico de 993,3 mm de chuva tendo 661,9 mm de déficit hídrico e 331,4 mm de excesso. O excesso hídrico, foi observado principalmente em fevereiro de 2024, mês de maior contribuição para a recarga, considerando, a partir da análise, que o solo já apresentava saturação do mês anterior. Nos outros meses, a deficiência hídrica se destacou, com valores elevados a partir de abril e máximos entre maio e setembro, demonstrando um período longo de seca. Com isso, percebe-se que a recarga dos aquíferos na região de Montes Claros acontece de forma restrita nos meses de janeiro e fevereiro. Isso mostra como a recarga pluviométrica nessa região depende muito do curto período de chuva, reforçando a necessidade de estratégias para a proteção das áreas de recarga e de uso dos recursos hídricos.

Palavras-Chave: Excesso; Déficit; Precipitação; Recarga; Aquíferos.

MODELO HIDROGEOLÓGICO PARA O PLATÔ LATERÍTICO-BAUXÍTICO SARACÁ, EM PORTO TROMBETAS/PA

Lucas Santos ¹, Daniel Bertachini ², Maurício Bertachini ³, Rafael Soares ⁴, José Louzada ⁵,

¹ MDGEO, lucas.santos@mdgeo.com.br; ² MDGEO daniel@mdgeo.com.br; ³ MDGEO mauricio@mdgeo.com.br; ⁴ MDGEO, rafael.coutinho@mdgeo.com.br; ⁵ MDGEO, jose.louzada@mdgeo.com.br.

RESUMO

O presente trabalho aborda a construção do Modelo Hidrogeológico do platô laterítico-bauxítico Saracá, localizado na região de Porto Trombetas, noroeste do estado do Pará, com foco em implicações ao Aquífero Alter do Chão. Esse Aquífero, com uma área estimada de 290.500 km² na região Norte do Brasil, é essencial para o abastecimento hídrico de diversas áreas urbanas e rurais, além de desempenhar o papel de uns dos maiores aquíferos de maior importância a nível global. Apesar de estudos anteriores já terem tratado a geologia e hidrologia do Aquífero, ainda há lacunas quanto à compreensão da dinâmica hidrogeológica em platôs lateríticos onde se concentram algumas atividades de mineração. Nesse contexto, a pesquisa conduzida pela MDGEO Hidrogeologia e Meio Ambiente no platô Saracá visa aprofundar esse entendimento, utilizando métodos como compilação de dados geológicos e estruturais, inventário de nascentes, monitoramento hidrológico e coleta de amostras para análises hidroquímicas e isotópicas. Os resultados apontam que as principais surgências de água no platô ocorrem entre 65 e 88 metros de altitude, associadas a solos coluvionares e sedimentos arenosos a areno-cascalhosos da Formação Alter do Chão. A observação do aumento de vazões a jusante sugere um fluxo de base constante, alimentado por fontes subterrâneas. A análise hidroquímica, por meio de diagramas de Piper, indicou que as águas são predominantemente bicarbonatadas. A análise isotópica permitiu distinguir amostras com influência evaporativa daquelas com infiltração mais rápida e circulação rasa. A partir dos dados obtidos, foram caracterizadas três unidades hidrogeológicas no sistema: o Aquífero Superficial Isolado, o Aquífero Suspenso Local e o Aquífero Regional Profundo. O primeiro está relacionado aos horizontes bauxíticos e lateríticos, de baixa espessura e baixa permeabilidade, onde a infiltração ocorre de forma vertical até atingir camadas de silte. O Aquífero Regional Profundo, por outro lado, é composto por arenitos quartzosos de elevada permeabilidade, responsáveis por alimentar nascentes localizadas ao longo dos cursos d'água. O fluxo subterrâneo se distribui em dois sentidos principais: um que drena lateralmente para as vertentes e outro que mantém a base hídrica dos cursos d'água suspensos. A elaboração do modelo conceitual permitiu compreender os mecanismos de recarga e escoamento subterrâneo, a influência das atividades antrópicas (como disposição de rejeitos) e os padrões hidroquímicos predominantes. Esses elementos são essenciais para o planejamento ambiental da região, especialmente quanto à preservação dos recursos hídricos e à operação segura da mineração. Por fim, destaca-se a necessidade de aprofundamento das investigações no Aquífero Regional Profundo, dada sua relevância hidrogeológica e estratégica. Compreender esse sistema é crucial não só para a gestão dos recursos naturais da Amazônia, mas também pela sua importância global como um dos maiores e mais significativos aquíferos do planeta.

Palavras-Chave: Modelo Hidrogeológico Conceitual, Aquífero Alter do Chão, Platôs Lateríticos-bauxíticos.

FATORES AMBIENTAIS E DE POLÍTICAS PÚBLICAS INFLUENCIAM A PESQUISA SOBRE CONTAMINAÇÃO POR ELEMENTOS-TRAÇO NOS ECOSISTEMAS LÊNTICOS BRASILEIROS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Maria Clara Ferreira Neuenschwander^{1,*}, Thaís de Castro Paiva¹, José Fernandes Bezerra-Neto¹, Camila Costa de Amorim Amaral² & Daniele Kasper¹

¹ Departamento de Ecologia, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, mariaclara009@gmail.com, thaisdecp@gmail.com, joseneto.ufmg@gmail.com, daniele.kasper@gmail.com; ² Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, camila@desa.ufmg.br

RESUMO

Os ecossistemas lânticos são vulneráveis à contaminação por elementos-traço, que podem se acumular e representar riscos à vida aquática e à saúde humana. Esta revisão sistemática investigou pesquisas sobre a contaminação por elementos-traço em sistemas lânticos urbanos brasileiros, com o objetivo de compreender como fatores geográficos, ambientais e populacionais influenciam a distribuição e o foco dos estudos. O processo de triagem dos artigos seguiu o protocolo "Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses" (PRISMA). A busca bibliográfica nas bases Web of Science e Scopus, no período de 1980 a 2023, resultou em 1558 artigos, dos quais 329 foram excluídos por serem duplicatas, restando 1229 para triagem por título e resumo. Após a avaliação, 65 artigos foram selecionados para a revisão. Os estudos foram categorizados de acordo com a região geográfica, bioma, tipo de uso do solo, elementos-traço investigados, matriz analisada e menções às legislações ambientais brasileiras. Observou-se uma tendência crescente na produção científica, especialmente entre 2011 e 2023. Nenhum artigo foi encontrado antes de 1994. A maior parte dos estudos foi conduzido na região Sudeste, em grandes centros urbanos e no bioma Mata Atlântica. As atividades industriais foram o tipo de uso do solo predominante nas áreas de estudo. Cu, Pb, Cr, Zn e Ni foram os elementos-traço mais frequentemente investigados, enquanto o sedimento foi a matriz mais analisada. As legislações brasileiras sobre qualidade da água e dos sedimentos foram mencionadas em 33 estudos. Esta revisão destaca a necessidade de mais pesquisas em regiões e biomas sub-representados, bem como sobre elementos potencialmente perigosos que receberam menos atenção, como As e Hg. Esses achados contribuem para uma melhor compreensão do estado atual do conhecimento sobre a contaminação por elementos-traço em sistemas lânticos urbanos brasileiros e podem orientar prioridades futuras de pesquisa e estratégias de gestão para esses ecossistemas vulneráveis. Embora focada no contexto brasileiro, a revisão identifica padrões que refletem desafios comuns aos ambientes urbanos globalmente, ressaltando a importância de ampliar os esforços de monitoramento e gestão da contaminação por elementos-traço em ecossistemas lânticos urbanos sob uma perspectiva global.

Palavras-chave: Metais pesados, lagoa, ecossistema urbano, biomas brasileiros, sedimento

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE ELEMENTOS-TRAÇO NOS SEDIMENTOS DE UM RESERVATÓRIO URBANIZADO (LAGOA DE IBIRITÉ)

Maria Clara Ferreira Neuenschwander^{1,*}, Thaís de Castro Paiva¹, Júlia Dell’Isola Silva¹, Letícia Malta Costa², Vitoria Hagemann Cauduro², André Ferreira Rodrigues³, Sérgio Henrique Godinho Silva⁴ & José Fernandes Bezerra-Neto¹

¹ Departamento de Ecologia, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, mariaclara009@gmail.com, thaisdecp@gmail.com, juliadellisola@gmail.com, joseneto.ufmg@gmail.com; ² Departamento de Química, Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal de Minas Gerais, lemalta41@gmail.com, vitoriahcauduro@gmail.com; ³ Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, afrodrigues@ehr.ufmg.br; ⁴ Departamento Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras, sergio.silva@ufla.br

Resumo

Ambientes lânticos, como reservatórios, possuem características deposicionais que favorecem o acúmulo de poluentes no sedimento, podendo atingir altos níveis de contaminação em áreas urbanizadas. A Lagoa de Ibirité é um reservatório artificial, construído em 1968, localizado em uma bacia hidrográfica com intensa ocupação urbana e industrial. O objetivo deste estudo foi avaliar a qualidade dos sedimentos da Lagoa de Ibirité, com foco na regionalização das concentrações de elementos-traço. Foram realizadas coletas em duas campanhas (maio e novembro de 2024), com 15 pontos no reservatório e sete pontos em ecossistemas lóticos (tributários e jusante). Os sedimentos foram analisados quanto à granulometria (frações de areia, silte e argila), pH, condutividade elétrica e teor de matéria orgânica (MO). Para a determinação elementar, as amostras foram preparadas por decomposição assistida por micro-ondas baseada no método EPA 3051A. As concentrações de As, Cd, Cr, Hg, Mn, Ni, Pb e Zn foram determinadas por espectrometria de massas com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS). Os dados foram validados quanto aos limites de quantificação (LQ) e exatidão usando materiais de referência certificados (MESS-4 e IAEA 457). Os sedimentos do reservatório apresentaram predominância de partículas finas, exceto um ponto que apresentou maior teor de areia, sugerindo variações locais na dinâmica deposicional. Já os pontos localizados em ambientes lóticos exibiram porcentagens significativas de areia, evidenciando a maior energia hidrodinâmica nessas áreas, o que favorece uma maior deposição de partículas mais grossas. Foram observadas diferenças espaciais e temporais nos parâmetros químicos dos sedimentos. Em maio, o pH variou de 3,4 a 7,6 ($5,7 \pm 1,1$, média $\pm$ desvio padrão), a MO de 0,9% a 30,9% ($13,5 \pm 9,3\%$) e a condutividade elétrica de 73 a 2570 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ($866 \pm 694 \mu\text{S}/\text{cm}$). Já em novembro, o pH variou de 5,3 a 10 ($6,85 \pm 1,25$), a MO de 0,7% a 25,2% ($12,2 \pm 8,1\%$) e a condutividade elétrica de 27 a 1630 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ($593 \pm 474,9 \mu\text{S}/\text{cm}$). Dentre os elementos avaliados, foram observadas concentrações de Cd significativamente superior em novembro em comparação com maio. Não foram observadas diferenças significativas entre períodos para os demais elementos. As concentrações de Hg ficaram abaixo dos LQs. Já as concentrações de As, Ni e Cr nos sedimentos do reservatório ultrapassam os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 454/2012. Os ecossistemas lóticos apresentaram concentrações elevadas de Cr, Ni e Zn (especialmente nos rios Ibirité, Pintado e Palmareis), porém todas abaixo dos valores de NÍVEL 2 da legislação. Análises de regressão múltipla demonstraram que a fração fina (silte + argila) foi o principal preditor das concentrações de metais-traço, apresentando efeito positivo e significativo para As, Cd, Cr, Pb, Zn, Mn e Ni. Esses resultados ressaltam a importância da granulometria na distribuição de contaminantes e reforçam a necessidade de monitoramento contínuo dos sedimentos para apoiar estratégias de gestão e remediação em reservatórios urbanos.

Palavras-chave: contaminantes inorgânicos, ecossistema lântico, determinação elementar, sedimentos, ICP-MS

AUTOMAÇÃO PARA ESTIMATIVA DE RECARGA POR WATER TABLE FLUCTUATION (WTF)

Nathan Martins¹, Fernanda Oliveira¹, Tiago Tostes³.

¹Water Services and Technologies, nathan.martins@waterservicestech.com; ²Water Services and Technologies, fernanda.oliveira@waterservicestech.com; ³Hidrogeólogo, tiago13tostes@hotmail.com.

RESUMO

A recarga de aquíferos desempenha um papel fundamental na compreensão da dinâmica hidrogeológica e é um parâmetro essencial para o desenvolvimento de modelos conceituais e numéricos. Entre os métodos usados para estimar esse parâmetro, destaca-se o Water Table Fluctuation (WTF), que leva em conta a variação do nível d'água subterrâneo após eventos de precipitação como indicativo da recarga. Embora seja amplamente utilizado, esse método requer etapas manuais para selecionar os intervalos e calcular a recarga, o que pode trazer subjetividade e inconsistências nos resultados, além de exigir longos períodos de análise quando aplicado a extensas bases de dados. Para superar essas limitações, este estudo apresenta uma aplicação computacional, desenvolvida internamente na Water Services and Technologies, que automatiza o processo de estimativa da recarga pelo método WTF, proporcionando maior padronização, agilidade e confiabilidade. A aplicação foi criada em Python e utiliza planilhas Excel para a entrada e saída de dados. O sistema processa séries temporais de nível d'água e precipitação, e o algoritmo seleciona automaticamente os trechos mais adequados com base na geometria do gráfico de nível d'água. Após essa seleção, os cálculos de recarga são realizados com base na equação clássica do método WTF, utilizando valores ajustáveis de porosidade efetiva. O usuário tem a opção de realizar uma interpolação condicional para preencher dados ausentes de nível d'água, considerando que falhas nos registros são comuns em séries históricas. O alcance desta interpolação é definido pelo usuário, evitando a inserção de valores artificiais em períodos com lacunas prolongadas. Os resultados incluem gráficos interativos que mostram como o nível d'água e a precipitação mudam ao longo do tempo, facilitando a visualização dos trechos analisados. O sistema também cria uma tabela com os valores estimados de recarga para cada intervalo, junto com uma análise de sensibilidade relacionada à porosidade efetiva. Além disso é apresentado um indicador de integridade, que alerta se o intervalo tem características que podem afetar a confiabilidade da estimativa, como volume de precipitação inconsistentes com a recarga calculada. A solução identifica períodos-chave e estima a recarga em uma fração do tempo do processo manual, o que acelera a execução de projetos. Além disso, a identificação dos intervalos de interesse segue critérios computacionais objetivos, garantindo padronização e evitando inconsistências decorrentes de vieses humanos, o que fortalece a confiabilidade técnica nos estudos. Como a aplicação pode ser integrada a diversos tipos de projetos, esta otimiza a dinâmica de trabalho, permitindo que o especialista dedique mais tempo na interpretação dos resultados.

Palavras-Chave: Estimativa de recarga; Water Table Fluctuation; Automação; Python; Modelagem hidrogeológica.

USO DE LIDAR ACOPLADO A DRONE PARA MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO DE FEIÇÕES CÁRSTICAS DE RECARGA HÍDRICA

Pedro Assunção¹, Guilherme Ribas², Rafael Magno¹, Camila Schuch¹, Lucas Padoan¹, Alexandre Gontijo², Paulo Galvão¹

¹ Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, CPMTC-IGC, Laboratório de Estudos Hidrogeológicos (LEHID), Belo Horizonte, Brasil, phassuncao@ufmg.br.

² MecRoc Engenharia Ltda., Belo Horizonte (MG), Brasil, guilherme.ribas@mecroc.com.br.

RESUMO

Dolinas e lagoas são feições do relevo cárstico que podem atuar como pontos de recarga do sistema subterrâneo. Existem vários tipos de dolinas, algumas delas estão relacionadas ao carste subjacente, que são chamadas de dolinas de cobertura. Na região cárstica de Sete Lagoas, estado de Minas Gerais, Brasil, existe a ocorrência deste tipo de dolina, porém não foram estudadas profundamente. O uso de LIDAR tem se tornado cada vez mais comum para mapeamento de dolinas, pois permite melhor delimitação de sua morfologia, especialmente em áreas com vegetação densa. O objetivo deste trabalho foi caracterizar as dolinas em metapelitos, a fim de compreender a sua gênese e a dinâmica hídrica dessas feições cársticas sobrejacentes do aquífero cárstico. Para isso foram realizados o mapeamento geomorfológico/geoestrutural e modelo de elevação a partir de *Light Detection and Ranging* (LIDAR) acoplado em drone, para caracterizar a morfologia destas feições. Os resultados mostraram que existem 5 lagoas cársticas algumas perenes e outras intermitentes, além de 8 dolinas classificadas do tipo encoberta por rocha. Ambas as feições estão diretamente relacionadas com os metapelitos e condicionadas pelo carste subjacente e ao arcabouço estrutural da área. A morfologia interna das dolinas é parecida indicando um semelhança no processo que as formaram. Além disso, o escaneamento a laser baseado em UAV para caracterização da estrutura interna de dolinas demonstrou ser uma alternativa inovadora. Os resultados permitiram concluir que essas feições são parte fundamental do comportamento hidrodinâmico, atuando na recarga do sistema aquífero.

Palavras-Chave: Dolina; LIDAR; Drone; Sete Lagoas; Geomorfologia cárstica.

Comportamento Geoquímico das Águas em Área Minerada no Quadrilátero Ferrífero: Uma Abordagem Isotópica e Hidroquímica.

Rafael Coutinho Soares¹, José Luiz S. Louzada², Daniel Perez Bertachini³, Maria Isabel Teodoro⁴, Lucas César Vaz dos Santos⁵

¹MDGEO, rafael.coutinho@mdgeo.com.br; ²MDGEO, jose.louzada@mdgeo.com.br; ³MDGEO, daniel@mdgeo.com.br; ⁴VALE, Maria.Teodoro@vale.com; ⁵MDGEO, vazlucascesar@gmail.com

RESUMO

A área do Quadrilátero Ferrífero (QF) é uma das regiões com grande importância em termos de produção mineral, e a atividade mineradora apresenta potencial para influenciar os recursos hídricos em seu entorno, alterando processos hidrológicos e geoquímicos. Este estudo aborda a caracterização hidroquímica e isotópica das águas subterrâneas e superficiais na área de uma mineradora, localizada em Congonhas (MG) no extremo sudoeste do Sinclinal Moeda, tendo como objetivo compreender as possíveis alterações nesses recursos hídricos, considerando os fatores naturais e as influências decorrentes da mineração, bem como reconhecer a origem, a composição e as interações dessas águas com o meio geológico, identificando processos de recarga e distintas fontes hídricas. Foram coletadas amostras de água em 15 pontos (superficiais e subterrâneos) na área da Mina, em outubro de 2023 e julho de 2024, para análises hidroquímicas e isotópicas. A caracterização hidroquímica envolveu a análise de íons maiores (cálcio, magnésio, sódio, potássio, cloreto, bicarbonato, carbonato e sulfato) e parâmetros físico-químicos in situ (pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, potencial redox e turbidez). Os dados foram analisados por meio de balanço iônico, diagramas de Piper e Stiff, e comparados com os valores de referência estabelecidos pelas Resoluções CONAMA nº 357/2005 e nº 396/2008. A caracterização isotópica foi realizada por meio da análise dos isótopos estáveis de oxigênio-18 ($\delta^{18}\text{O}$) e deutério ($\delta^2\text{H}$), com os resultados plotados em relação à Linha Meteorica Local (LML) de Belo Horizonte e à Linha Meteorica Global (LMG), disponibilizadas pela Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA-GNIP). A análise hidroquímica indicou a predominância de águas bicarbonatadas magnesianas nas amostras subterrâneas, refletindo a influência da geologia local. As variações observadas nos diagramas de Piper e Stiff mostraram diferentes tipos de água e níveis de mineralização, correlacionando-se com distintas formações geológicas. A análise isotópica sugeriu uma origem meteórica comum para a maioria das águas, com alguns pontos apresentando sinais de evaporação ou diferentes tempos de residência, além de demonstrar a influência sazonal nas assinaturas isotópicas. Este estudo demonstrou a complexa interação entre as águas e a geologia na área da mina, resultando em variados padrões hidroquímicos e isotópicos. Embora haja indícios de possível influência da atividade mineradora no aumento da mineralização em alguns pontos, as características gerais das águas são fortemente controladas pela litologia local e pela dinâmica sazonal do ciclo hidrológico. A caracterização isotópica forneceu informações sobre a origem e os processos que afetam as águas, contribuindo significativamente para a compreensão da hidrogeologia da região. Os resultados oferecem subsídios importantes para o monitoramento e a gestão sustentável dos recursos hídricos, sendo essencial o acompanhamento contínuo para a avaliação das influências de longo prazo da mineração.

Palavras-Chave: Quadrilátero Ferrífero; Hidroquímica; Isótopos-estáveis; Mineração; Recursos-hídricos.

AVALIAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO MÉDIA DA BACIA DOS RIOS PANDEIROS E PERUAÇU, NORTE DE MINAS, MG

Rafael Fernando Marinho Quintão¹, Vitória Gomes Macêdo², Letícia Pereira dos Santos³, Yasmin Andrade Lima⁴, Ana Maria Nascimento Gonçalves⁵, Matheus de Castro Fiusa⁶, Rodrigo Sérgio de Paula⁷

¹Laboratório de Estudos Hidrogeológicos [LEHID], Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, CPMT-IGC, Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 – Campus Pampulha, Belo Horizonte – MG, 31270-901, Brasil.

¹UFMG, rafafmquintao@gmail.com; ²UFMG vitoriagomesmacedo3@gmail.com; ³UFMG letterpds@gmail.com; ⁴UFMG, yasminnandrad@gmail.com; ⁵UFMG, anamarianascgs@gmail.com; ⁶UFMG math.castrogeo@gmail.com; ⁷UFMG depaula.ufmg@gmail.com.

RESUMO

A análise de tendências pluviométricas é fundamental para compreensão do ciclo hidrogeológico e as relações entre água superficial e subterrânea, fundamental para determinação de zonas de déficit hídrico na região. A presente contribuição visa realizar uma caracterização pluviométrica da microrregião hidrográfica dos rios Pandeiros e Peruaçu, utilizando-se de diferentes métodos para cálculo de pluviometria média. Situada na porção norte de Minas Gerais, a 170 km do município de Montes Claros, a bacia integra a mesorregião do Médio São Francisco, composta por rochas carbonáticas do Grupo Bambuí e arenitos do Grupo Urucuaia, que resultam em unidades hidrogeológicas porosas e cárstico-fissurais de alta produtividade. Foram avaliados três métodos de cálculo de pluviometria: Média Aritmética, Thiessen e Isoietas. O primeiro método de cálculo foi a média aritmética entre os valores de pluviometria de cada estação analisada. Em sequência, os métodos de Thiessen e Isoietas foram aplicados considerando além dos dados pluviométricos, as relações de distância entre as estações para interpolar os dados. O método de Thiessen se baseia na determinação de áreas de influência de uma determinada estação pluviométrica, enquanto o método de Isoietas utiliza-se de isolinhas de precipitação. A pluviometria média da bacia é calculada a partir de uma média ponderada com base na área de cada polígono representativo da bacia, no caso do método de Thiessen e na área entre isolinhas sucessivas, no caso das isoietas e dividindo-se pela área total da sub-bacia. Para a realização dessa análise, foram obtidas séries históricas de precipitação de 8 estações pluviométricas a partir de dados do Sistema de Informações Hidroweb/ANA, abrangendo o ano de 2015, enquanto para interpolação dos pontos de análise foi utilizado o software Qgis e os cálculos das médias pluviométricas foram realizados com a utilização do Excel. Como resultados, constatou-se que as médias pluviométricas calculadas a partir dos métodos aritmético, Thiessen e Isoietas foi de 883,3; 886,5 e 887,5 mm, respectivamente. Diante das comparações dos métodos, constata-se que houve diferenças mínimas entre os valores calculados, reforçados pelo desvio padrão relativo de 2,5% em relação à média dos 3 valores de 885,8 mm. Analisando a distribuição geoespacial dos dados, é possível verificar tendências de maiores índices pluviométricos na região oeste da bacia. Em suma, todos os 3 métodos apresentaram resultados satisfatórios para a área calculada isso devido ao número considerado de estações utilizadas para os métodos. O método aritmético, apesar de ser o de mais simples aplicação, não levando em consideração a distribuição espacial dos pontos de análise, apresentou resultados semelhantes aos demais, mesmo sendo de menor confiabilidade. Por outro lado, vale ressaltar que nenhum dos métodos analisados levam em consideração aspectos físicos da bacia que podem influenciar os índices pluviométricos de uma área, como o relevo, por exemplo.

Palavras-Chave: Thiessen; Isoietas; Bacia Hidrográfica; Pluviometria.

APLICANDO O MÉTODO THIESSEN E ANALISANDO MÉDIAS PLUVIOMÉTRICAS DA BACIA JQ1 – ALTO RIO JEQUITINHONHA.

Vitória Gomes Macêdo¹, Ana Maria Nascimento Gonçalves², Letícia Pereira dos Santos², Rafael Fernando Marinho Quintão², Yasmin Andrade Lima², Rodrigo Sérgio de Paula².

¹Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, vitoriagomesmacedo3@gmail.com; ²Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, anamarianascgs@gmail.com; ²Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, letterpds@gmail.com; ²Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, rafafmquintao@gmail.com; ²Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, yasminnandrad@gmail.com; ²Laboratório de Estudos - LEHID, Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, depaula.ufmg@gmail.com.

RESUMO

A Bacia Hidrográfica do Alto Rio Jequitinhonha está localizada nas mesorregiões do Vale do Jequitinhonha e Norte de Minas Gerais, abrangendo municípios importantes como Grão Mogol e Diamantina. Com uma área de drenagem de 19.803 km², a bacia inclui 10 sedes municipais e possui uma população estimada em 100.006 habitantes. O presente estudo tem como objetivo analisar a pluviometria de estações representativas e aplicar o método de Thiessen para estimar o balanço hídrico da região. Para isso, foi necessário calcular a altura média da chuva precipitada sobre a área de drenagem. O método de Thiessen, que consiste na construção de polígonos com base na localização das estações pluviométricas, foi utilizado com o auxílio do software QGIS, por meio da ferramenta "Polígonos de Voronoi". Foram selecionadas seis estações pluviométricas com dados consistentes no período de 1985 a 2024: 1541013 (1), 1542006 (2), 1642014 (3), 1743015 (4), 1843011 (5) e 1743002 (6). Após a geração dos polígonos, foi calculada a área de cada um e sua respectiva porcentagem em relação à bacia. Os resultados foram os seguintes: estação 1 – 1,77%, estação 2 – 14,26%, estação 3 – 41,52%, estação 4 – 23,67%, estação 5 – 10,59% e estação 6 – 8,19%. As respectivas médias anuais de precipitação observadas foram: 805,6 mm, 1520,4 mm, 1604,2 mm, 420,8 mm, 1270,0 mm e 1085,6 mm. Com esses dados, foi aplicada a ponderação do método de Thiessen, multiplicando-se o valor de precipitação de cada estação pela porcentagem de área correspondente. O resultado foi uma precipitação média ponderada (Thiessen) de 1220,14 mm. Comparativamente, a média aritmética das precipitações foi de 1117,78 mm. Observou-se que as estações 5 (10,59%) e 6 (8,19%) apresentaram valores mais próximos da média ponderada, enquanto a estação 3, embora com a maior área de influência (41,52%), apresentou um valor pluviométrico significativamente mais elevado que a média. Para a análise temporal, foram selecionadas as estações com série completa de dados entre 1985 e 2024: estações 1, 3, 5 e 6. Foi realizado uma análise gráfica com a variação da pluviometria ao longo dos anos, acompanhado de linhas de tendência linear. Os resultados indicaram uma redução acumulada de 299,06 mm na estação 3, 69,01 mm na estação 5 e 98,01 mm na estação 6 ao longo dos 39 anos. A estação 1, por outro lado, apresentou um leve aumento de 18,27 mm no período. Por fim, a aplicação do método de Thiessen na Bacia do Alto Rio Jequitinhonha permitiu uma estimativa mais precisa da precipitação média, do ano de 1985, resultando em 1220,14 mm. A análise temporal indicou uma tendência de redução da precipitação em três das quatro estações avaliadas, evidenciando possíveis impactos climáticos no decorrer dos 39 anos de monitoramento. Com esses dados, é possível compreender o quão importante é a análise de dados pluviométricos em bacias de grande importância para os municípios do Vale do Jequitinhonha e no Norte de Minas e um gestão de uso dos recursos hídricos superfícies e subterrâneos.

Palavras-Chave: Thiessen; Jequitinhonha; Pluviometria; Norte de Minas; Bacia Hidrográfica.

MÉTODOS INDIRETOS HIDROGEOLÓGICOS NA AVALIAÇÃO DA DINÂMICA DE RECARGA NA BACIA DO RIO SÃO MIGUEL

Wendy, TANIKAWA¹², Beatriz FONSECA¹, Tassia MARQUES¹, Pedro Henrique ASSUNÇÃO¹², Paulo GALVÃO¹, Lucas PADOAN¹, Gabriel LOURENÇO¹²

¹ Laboratório de Estudos Hidrogeológicos (LEHID - CPMTc) – Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

² Sociedade Excursionista e Espeleológica (SEE)

RESUMO

Aquíferos cársticos são formados por complexas redes de condutos subterrâneos, onde o fluxo é altamente dinâmico devido à recarga direta e pontual em sumidouros, presença de cavernas, deposição de sedimentos e mudanças no nível da base hídrica. Esses aquíferos abastecem aproximadamente 25% da população mundial, enfatizando a necessidade de sua adequada compreensão e preservação. Para compreender o funcionamento do aquífero cárstico, foram avaliadas a hidroquímicas por meio de diagramas de Piper e Stiff, além de hidrogramas onde são avaliadas a vazão, condutividade elétrica, temperatura e pluviometria. A nascente do Timburé localizada na sub-bacia S2 (56,1 km²), pertencente a bacia do rio São Miguel, foi monitorada durante o ano hidrológico de 2019-2020. A área de estudo está localizada na porção sul do cráton do rio São Francisco, e é composta por rochas carbonáticas neoproterozóicas do Grupo Bambuí. Na região predominam a mineração de calcário, agricultura e pecuária como usos predominantes do solo, evidenciando a sua vulnerabilidade. A análise do monitoramento da nascente foi conduzida com base em três eventos de precipitação (R1, R2 e R3) para avaliar a carstificação do sistema e as respostas hidrodinâmicas. Os resultados indicam um sistema muito carstificado com comportamento bimodal, cujas dinâmicas de recarga e descarga poder ocorrer lenta e rapidamente, dependendo do período e da intensidade do evento chuvoso. As análises hidroquímicas identificaram a água como bicarbonatada cálcica. As metodologias aplicadas forneceram insights sobre a capacidade de armazenamento do aquífero e as possíveis consequências nas recargas difusas e pontuais do sistema. Os métodos aplicados neste estudo, associado ao uso de traçadores fluorescentes, também podem contribuir para a delimitação da área de proteção a partir da identificação dos locais de recarga do sistema. A Lagoa do Retiro está associada a recarga lenta e difusa e a Gruta do Narigudo à recarga rápida e pontual. Esses resultados contribuem para a gestão das águas subterrâneas e para a preservação das feições cársticas associadas.

Palavras-Chave: Hidrogeologia cárstica; Hidrodinâmica; Hidroquímica; Recarga.

CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO MUNICÍPIO DE MONTES CLAROS-MG

Yasmin Andrade Lima¹, Letícia Pereira dos Santos¹, Vitória Gomes Macêdo¹, Rafael Fernando Marinho Quintão¹, Ana Maria Nascimento Gonçalves¹, Rodrigo Sérgio de Paula¹

¹Laboratório de Estudos Hidrogeológicos [LEHID], Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, CPMTG-IGC, Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 – Campus Pampulha, Belo Horizonte - MG, 31270-901, Brasil.

yasminnandrad@gmail.com; letterpds@gmail.com; vitoriagomesmacedo3@gmail.com; rafafmquintao@gmail.com; anamarianascgs@gmail.com; depaula.ufmg@gmail.com

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo caracterizar a hidroquímica das águas subterrâneas do município de Montes Claros, importante polo regional situado no norte do estado de Minas Gerais, Brasil, localizado no Vale do Jequitinhonha e no semiárido mineiro. A cidade está inserida na bacia hidrográfica do rio Verde Grande, afluente do rio São Francisco. A área de estudo está inserida no contexto geológico do Cráton São Francisco, com predominância do Grupo Bambuí, composta por rochas carbonáticas intercaladas com folhelhos, que conferem características peculiares aos aquíferos locais. Foram analisados dados hidroquímicos de oito poços de monitoramento da Gerência de Monitoramento Hidrometeorológico e Eventos Críticos - Igam, coletados durante o ano de 2023, abrangendo os íons maiores (Ca^{2+} : 11,53-116,26 mg/L; Mg^{2+} : 1,66-11,89 mg/L; Na^+ : 0,80-50,16 mg/L; K^+ : 0,22-2,32 mg/L; $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$: 96,40-267,60 mg/L; Cl^- : 0,50-3,40 mg/L; SO_4^{2-} : 5,0-19,7 mg/L), além de parâmetros como condutividade elétrica (185-523 $\mu\text{S}/\text{cm}$) e pH (5,6-7,5). Os resultados demonstraram que sete dos oito poços apresentaram águas classificadas como bicarbonatadas cálcica, com teores médios de 186,7 mg/L de HCO_3^- e 62,4 mg/L de Ca^{2+} , característica típica de aquíferos cársticos, refletindo os processos de dissolução dessas rochas. Apenas o poço MC002 apresentou características distintas, mostrando características bicarbonatadas sódicas, com elevado teor de sódio (50,16 mg/L) e relação $\text{Na}^+/\text{Cl}^- = 100,32$. O poço RIC_06_IGAM destacou-se pela maior mineralização ($\text{CE} = 523 \mu\text{S}/\text{cm}$) e teor de sulfato (19,7 mg/L), possivelmente associado à atividades humanas, agrícolas ou industriais. A classificação hidroquímica mostrou-se essencial para identificar a assinatura hidroquímica predominante das águas subterrâneas na região. Os resultados reforçam a importância do monitoramento hidroquímico contínuo para acompanhar possíveis alterações na qualidade das águas ao longo do tempo, especialmente em um contexto de mudanças climáticas e pressão antrópica crescente sobre os recursos hídricos nesta importante região de Minas Gerais.

Palavras-Chave: Hidroquímica, Poços, Monitoramento, Norte de Minas, Qualidade de água.